

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
УКРАЇНИ «КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ  
ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет електроніки

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра звукотехніки та реєстрації інформації

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»  
УДК 004.4'227.2

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Г.Г.Власюк  
(підпис) (ініціали, прізвище)

“09” грудня 2019 р.

## Магістерська дисертація

спеціальність 171 Електроніка  
(код і назва спеціальності)

на тему: «Особливості застосування засобів програмної обробки аудіо-контенту»

Виконав: студент VI курсу, групи ДВ-81мп  
(шифр групи)

Любимий Антон Станіславович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник професор, д.т.н., професор Розорінов Г.М.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет) Факультет електроніки  
(повна назва)

Кафедра звукотехніки та реєстрації інформації  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) 171 Електроніка (Електронні системи мультимедіа та засоби інтернету речей)  
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри

Г.Г.Власюк  
(підпис) (ініціали, прізвище)

« 10 » вересня 2018 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

Любимому Антону Станіславовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Особливості застосування засобів програмної обробки аудіо-контенту»,  
науковий керівник дисертації Розорінов Георгій Миколайович, д.т.н., професор  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)  
затверджені наказом по університету від «07» листопада 2019 р. № 3859-с
2. Строк подання студентом дисертації 09.12.2019 р.
3. Об'єкт дослідження: засоби програмної обробки аудіо-контенту
4. Предмет дослідження (Вихідні дані – для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою): програмне забезпечення для обробки та запису аудіо-контенту, цифрові звукові робочі станції Ableton та Reaper, програмне забезпечення для моделювання електронних схем NI Multisim, блок ефектів MXR Distortion+, середовище розробки програмного забезпечення Xcode та Juce.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: проаналізувати існуючі методи обробки аудіо-контенту та створення звукових ефектів та обробок, проаналізувати програмні та апаратні засоби обробки аудіо-контенту, запропонувати рішення, що дозволяють підвищити якісні характеристики обробки звукового контенту, запропонувати методи розробки засобів для обробки звукових сигналів, що може бути використаний для професійних потреб та дослідити їх.
6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 1) 63 рис, 24 табл., 1 презентація, 11 слайдів.
7. Орієнтовний перелік публікацій: 1) Методи реалізації звукових обробок // III Всеукраїнська науково-технічна конференція «Технології сучасного кіно та аудіовізуальних систем», 2019 р. 2) Методи реалізації звукових ефектів // Міжнародний науковий електронний журнал «Наука онлайн» №11, 2019 р.
8. Дата видачі завдання 10.09.2018р.

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Написання першого розділу: Аналіз існуючих рішень	15.04.2019	
2	Написання другого розділу: Створення звуку	30.05.2019	
3	Написання третього розділу: Створення звукових ефектів аналоговим способом	10.10.2019	
4	Написання четвертого розділу: Створення звукових ефектів цифровим способом	09.11.2019	
5	Написання стартап-проекту за темою магістерської дисертації	19.11.2019	
5	Підготовка матеріалів до друку та оформлення пояснювальної записки	30.11.2019	
6	Підготовка та оформлення плакатів для доповіді	03.12.2019	

Студент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

А.С. Любимий

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Г.М. Розорінов

(ініціали, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 119 с., 63 рис., 24 табл., 14 джерел, 4 додатки.

**ЗВУКОВА ХВИЛЯ, ЕФЕКТ, ДИНАМІЧНА ОБРОБКА, ПЛАГІН, ФІЛЬТР.**

**Актуальність** теми полягає тому що хоча моделювання звуку надає нам світ майже безкінечних можливостей з парою натискань миші, це також представляє багато завад. У багатьох випадках ці виклики можуть стимулювати творчість, а переваги часто можуть викликати і нові труднощі.

**Метою** роботи є аналіз методів та технологій обробки звуку, дослідження алгоритмів обробки звукових ефектів, проведення експерименту щодо створення деяких звукових ефектів аналоговим та цифровим способами та наведення сучасних рішень з обробки звукових сигналів.

**Об'єктом** дослідження є засоби програмної обробки аудіо-контенту.

**Предметами** дослідження є програмне забезпечення для обробки та запису аудіо-контенту, цифрові звукові робочі станції Ableton та Reaper, програмне забезпечення для моделювання електронних схем NI Multisim, блок ефектів MXR Distortion+, середовище розробки програмного забезпечення Xcode та Juce.

**Методи дослідження:** емпіричне дослідження цифрових звукових робочих станцій та плагінів для створення музичного контенту, фізичне та програмне моделювання процесів та розробка власних методів обробки звукового сигналу.

**Новизна роботи** полягає в реалізації принципів і алгоритмів обробки звукових ефектів аналоговим та цифровим способами з метою наведення сучасних рішень для обробки звукових сигналів.

**Практичне значення одержаних результатів:** аналіз методів та технологій обробки звуку та дослідження алгоритмів обробки звукових ефектів дозволить більш раціонально підійти до створення сучасних рішень для обробки звукових сигналів.

**Апробація результатів роботи.** Результати роботи були апробовані на III Всеукраїнської науково-технічної конференції «Технології сучасного кіно та

аудіовізуальних систем» та в публікації статті на тему «Методи реалізації звукових ефектів» в міжнародному науковий електронний журнал «Наука онлайн» №11 в листопаді 2019 р.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі **завдання**:

- проаналізувати існуючі методи обробки аудіо-контенту та створення звукових ефектів та обробок;
- проаналізувати програмні та апаратні засоби обробки аудіо-контенту, запропонувати рішення, що дозволяють підвищити якісні характеристики обробки звукового контенту;
- запропонувати методи розробки засобів для обробки звукових сигналів, що може бути використаний для професійних потреб та дослідити їх.

## SUMMARY

Master's dissertation: 119 pages, 63 pic., 24 tables, 14 sources, 4 supplement.

SOUND WAVE, EFFECT, DYNAMIC PROCESSING, PLUGIN, FILTER.

The object of the study is software tools for audio content.

The topic is **relevant**, because wanting sound modeling gives us a world of almost endless possibilities with a couple of mouse clicks, it also presents a lot of confusion. In many cases, these challenges can stimulate threefold, and the benefits can often cause new difficulties.

**The purpose** of the work is to analyze the methods and technologies of sound processing, to study the algorithms for processing sound effects, to conduct an experiment to create some sound effects in analog and digital ways, and to present modern solutions for the processing of sound signals.

**Subjects** of study are audio content processing and recording software, Ableton and Reaper digital audio workstations, NI Multisim electronic circuit simulation software, MXR Distortion + effect block, Xcode and Juce software development environment.

**Research Methods:** An empirical study of digital audio workstations and plugins for creating music content, physical and software modeling of processes, and developing your own audio signal processing methods.

**The novelty** of the work is to implement the principles and algorithms of processing audio effects in analog and digital ways to provide modern solutions for processing audio signals.

**The practical significance** of the results obtained: analysis of sound processing methods and technologies and investigation of sound effects processing algorithms will allow a more rational approach to the creation of modern solutions for audio signal processing.

**Testing of results** of work. The results of the work were tested at the Third All-Ukrainian Scientific and Technical Conference "Technologies of modern cinema and audiovisual systems" and in the publication of an article on "Methods of realization of

sound effects" in the international scientific electronic magazine "Science Online" # 11 in November 2019.

To achieve this goal, you must perform the following **tasks**:

- analyze existing methods for processing audio content and creating sound effects and treatments;
- to analyze the software and hardware of audio content processing, to offer solutions that allow to improve the quality characteristics of audio content processing;
- to propose methods for developing audio signal processing facilities that can be used for professional purposes and to research them.

# ЗМІСТ

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....</b>	<b>10</b>
<b>ВСТУП.....</b>	<b>12</b>
<b>1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ.....</b>	<b>13</b>
1.1 Системи звукозапису на основі DAW.....	13
1.2 Психоакустичні основи.....	19
1.3 Цифрові аудіо-інтерфейси.....	21
1.4 Динамічна обробка сигналів.....	22
1.5 Процесори ефектів.....	28
<b>2. СТВОРЕННЯ ЗВУКУ.....</b>	<b>31</b>
2.1 Синтез звуку.....	31
2.2 Звукові ефекти.....	33
2.3 Звукові обробки.....	37
2.3.1 Фільтрація.....	37
2.3.2 Еквалізація.....	40
2.3.3 Динамічний діапазон.....	41
2.3.4 Компресія.....	42
<b>3. СТВОРЕННЯ ЗВУКОВИХ ЕФЕКТІВ АНАЛОГОВИМ СПОСОБОМ</b>	<b>44</b>
3.1 Загальні теоретичні відомості .....	44
3.1.1 Блоки ефектів.....	44
3.1.2 Короткі відомості про ефект «дісторшн».....	45
3.2 Елементи схеми.....	46
3.3 Модуляція педалі ефекту.....	53
3.3.1 Принципова схема педалі ефекту «дісторшн».....	53
3.3.2 Етап живлення.....	53
3.3.3 Етап операційного підсилювача.....	54
3.3.4 Етап відсікання.....	55
3.4 Результат моделювання.....	56



3.5 Модифікації педалі ефектів.....	59
<b>4. СТВОРЕННЯ ЗВУКОВИХ ЕФЕКТІВ ЦИФРОВИМ СПОСОБОМ....</b>	<b>61</b>
4.1 Музичні плагіни та їх формати.....	61
4.2 Поняття про принцип створення плагінів.....	63
4.3 Створення плагіна ефекту «дісторшн».....	65
4.3.1 Підготовчий етап.....	65
4.3.2 Створення нового проекту аудіо плагінів JUCE.....	67
4.3.3 Кодування блоку процесів.....	75
4.4 Результати роботи.....	81
<b>5. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ ЗА ТЕМОЮ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ .....</b>	<b>82</b>
5.1 Загальні відомості.....	83
5.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	82
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	83
5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	88
5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	90
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>94</b>
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....</b>	<b>96</b>
<b>ДОДАТОК А. ABSTRACT.....</b>	<b>98</b>
<b>ДОДАТОК Б.....</b>	<b>108</b>
<b>ДОДАТОК В .....</b>	<b>110</b>
<b>ДОДАТОК Г.....</b>	<b>114</b>

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ПК	—	персональний комп'ютер
ОС	—	операційна система
ФНЧ	—	фільтр нижніх частот (LP — low-pass filter)
ФВЧ	—	фільтр верхніх частот (HP — high-pass filter)
ШИМ	—	широтно-імпульсна модуляція
ADSR	—	Attack-Decay-Sustain-Release (дослівно — «атака-спад-затримка-загасання») — амплітудна обвідна у часі
API	—	Application Programming Interface — набір готових функцій, структур та констант, за допомогою яких додаток взаємодіє з зовнішнім програмним забезпеченням
ASIO	—	Audio Streaming In/Out (вхідний/вихідний аудіопотік)
BP	—	Band-Pass filter (смуговий фільтр)
CV	—	Control Voltage — керуюча напруга
DAW	—	Digital Audio Workstation (цифрова звукова робоча станція)
DSP	—	Digital Signal Processing — цифрова обробка сигналів
DXi	—	DirectX Instruments — тип плагінів, розроблений Microsoft
EQ	—	еквалайзер
FB	—	Feedback (дослівно — «зворотній зв'язок»), тут — тип компресора
FF	—	Feedforward (дослівно — «зустрічний»), тут — тип компресора
FM	—	Frequency Modulation — частотна модуляція
IDE	—	Integrated Development Environment (інтегроване середовище розробки)
LFO	—	Low Frequency Oscillator (генератор сигналів низької частоти)
L/R	—	режим, що дозволяє еквалізувати роздільно правий та лівий канали
MIDI	—	Musical Instrument Digital Interface (цифровий інтерфейс музичних інструментів)

- M/S — режим, що дозволяє обробляти окремо тільки моно складову сигналу або тільки стереонаправляючу
- OSC — Open Sound Control (дослівно — «відкритий контроль звуку») — протокол обміну даними, розроблений, насамперед, для використання у цифровій роботі з музикою в реальному часі
- RMS — Root Mean Squared — середньоквадратичне значення потужності, при якій нелінійні спотворення вихідного сигналу не перевищують вказаний рівень
- RTAS — Real-Time AudioSuite (дослівно — «звуковий набір реального часу») — тип плагінів, які використовуються в Pro Tools
- VSTi — Virtual Studio Technology instruments (дослівно — «віртуальна студійна технологія») — тип плагінів,
- WAV — Waveform Audio File Format (дослівно — «в формі хвилі») — формат файла-контейнера для оцифрованого аудіопотоку
- WT — Wave Table (дослівно — «хвильова таблиця») — семплери називають WT-синтезаторами

## ВСТУП

Дисертація присвячена заглибленню в концепцію сучасного аудіо-виробництва, переваги та виклики, які воно представляє.

Комп'ютерні технології для творчих сфер безперервно вдосконалюються - дизайн, анімація, створення фільмів, 3D моделювання, інтерактивні медіа та, звісно ж, аудіо та музичне виробництво. Значна частина музики, яку ми слухаємо сьогодні, записана та оброблена за допомогою комп'ютерних систем. У багатьох випадках ці комп'ютерні системи грають все більшу роль у посередництві всього творчого процесу, а не просто виконують функції запису та пост-виробництва.

Моделювання звуку надає нам світ майже безкінечних можливостей, але це також представляє багато труднощів та завад. У багатьох випадках ці виклики можуть стимулювати творчість, а переваги часто можуть викликати і нові труднощі. Технологія моделювання сильно змінила галузь виробництва музики. Це вплинуло на всіх у галузі виробництва музики. Незважаючи на те, що ці технології існували в тій чи іншій формі протягом трьох десятиріч років або близько того, останні десять, можливо, принесли найбільший прогрес.

Не лише професійні медіа групи та представники кіноіндустрії та індустрії відеоігор, а й багато незалежних творців, композиторів, музикантів насолоджуються можливістю створювати аудіо контент самостійно на своїх невеликих студіях чи просто вдома.

Аналіз методів та технологій обробки звуку та дослідження алгоритмів обробки звукових ефектів дозволить більш раціонально підійти до створення сучасних рішень для обробки звукових сигналів.

Від початку XXI століття робочі станції реалізуються на базі персонального комп'ютера. Для реалізації такої системи висуваються високі вимоги до апаратного забезпечення — насамперед до звукової карти комп'ютера, яка оцифровує звук при його запису, уможливорює його відтворення, іноді також частково здійснює обробку звуку. Крім того робота зі звуком вимагає швидкого процесора та великої за обсягом оперативної пам'яті.

# 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

## 1.1 Системи звукозапису на основі DAW

Звукозапис — це процес запису звукової інформації для її збереження і подальшого відтворення.

Є два методи для здійснення звукозапису: акустичний та електроакустичний. При акустичному методі звукові коливання безпосередньо керують приладом, що впливає на носій запису, а при електроакустичному вони спочатку перетворюються за допомогою мікрофону в електричні хвилі, які потім посилюються за допомогою підсилювача, а після чого поступають до приладу, який діє на носій, на який здійснюють запис.

Носії інформації для звукозапису можуть бути аналоговими та цифровими. При аналоговому записі електричний сигнал являє собою «аналог» акустичних коливань, в якому періодичні зміни звукового тиску представлені змінами електричної напруги, які фіксуються на носії. При цифровому звукозаписі електричний сигнал посилюється, а потім поступає на аналого-цифровий перетворювач (АЦП), з якого цифровий сигнал можна зафіксувати на цифровому носії інформації.

При механічному записі звуку голка або різець видавлює або вирізує на поверхні рухомого носія канавку, форма якої відповідає формі записуваних звукових коливань. Під час відтворення на грамофоні, голка, рухаючись по звивині канавки, повторює ці коливання і передає їх або на мембрану, випромінюючій звук через рупор, або на звукознімач, де утворюються електричні сигнали.

Механічний звукозапис вперше було проведено в 1877 американським винахідником Томасом Альва Едісоном, який побудував фонограф на валу, обернутому олов'яною фольгою. Згодом фольгу замінили воском. Механічний звукозапис на грамофонних платівках отримав популярність через простоту і зручність відтворення звуку в домашніх умовах.

Перший апарат для магнітного звукозапису на сталевий дріт (телеграфон) було створено в 1898 данським інженером В. Паульсенем.

З 40—50-х рр. 20 століття набув поширення звукозапис на магнітну стрічку за допомогою магнітофонів, які стали простими і зручними апаратами для виробництва звукозапису у домашніх умовах.

При магнітному записі в такт із звуковими коливаннями намагнічуються окремі ділянки носія, що рухається через магнітне поле. Поле створюється магнітною головкою, через обмотку якої проходять посилені електричні струми мікрофону. При відтворенні відбувається зворотний процес: рухома магнітна фонограма створює в магнітній головці електричні сигнали.

Цифровий звукозапис полягає у вимірюванні миттєвих значень амплітуди сигналу через рівні проміжки часу і представленні отриманих значень у вигляді числової послідовності.

Числа, отримані в результаті аналого-цифрового перетворення, виражаються в двійковій системі числення, тобто у вигляді комбінації двох цифр - нулів (0) і одиниць (1).

Якщо повернутись до історії, 1970-і роки ознаменували собою значний крок у впровадженні DAW. Тоді було створено The Fairlight CMI, який був "виділеним комп'ютером, який дозволяє передавати звук і маніпулювати ним».

Програма, яку вона використовувала, стала "матір'ю і батьком всього програмного забезпечення для DAW" [1]. Його зображено на рисунку 1.1, а його інтерфейс можна побачити на рисунку 1.2.



Рисунок 1.1 - The Fairlight CMI – перший комерційний цифровий семплер та секвенсор

Сторінка R секвенсору прийняла форму основного секвенсера, причому кожен шаблон мав мультитрекову організацію.

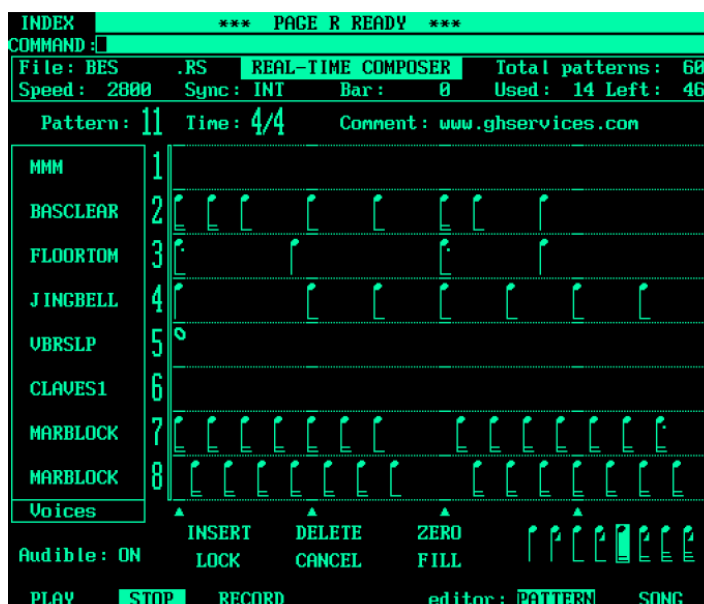


Рисунок 1.2 - Сторінка R в CMI Fairlight

Сучасне програмне забезпечення дозволяє здійснювати як завгодно складність ні перетворення звукових сигналів і створювати найнеймовірніші звукові ефекти. В аналоговій техніці майже кожен окремий звуковий ефект створюється шляхом використання окремого пристрою, коли кожне таке пристрій

може коштувати дуже дорого. У цифровій техніці якість обробки сигналів в них набагато менше залежить від якості апаратури. Дуже важливо, що для різних маніпуляцій зі звуком НЕ тре бується постійна зміна обладнання, досить змінити програмне забезпечення. Саме тому цифрова техніка вже сьогодні майже повністю витіснила зі студій стару аналогову апаратуру.

Механізми цифрової обробки звуку реалізуються як в програмному, так і апаратному виконанні. Найбільш часто обробка звуку здійснюється за допомогою звукових карт професійного і побутового призначення з використанням звукових редакторів спеціального призначення. Найбільш широко застосовується редактор Sound Forge, що має найбільш великий пакет звукових плагінів, користуються великою популярністю звукові редактори Cool Edit Pro і Steinberg WavLab. Особливо високу якість обробки звуку забезпечує пакет плагінів Waves Platinum Native Bundle 4. Обробка звукового сигналу може здійснюватися в реальному часі або застосовуватися щодо вже записаною фонограми. Обробка фонограм застосовується на стадії мастерингу або підготовки їх до тиражування, коли важлива не швидкість, а скрупульозна опрацювання всіх нюансів звучання. [3, с.8-9]



Рисунок 1.3 – Секвенсор Ableton Live



Сучасна цифрова студія виглядає як на рисунку 1.4

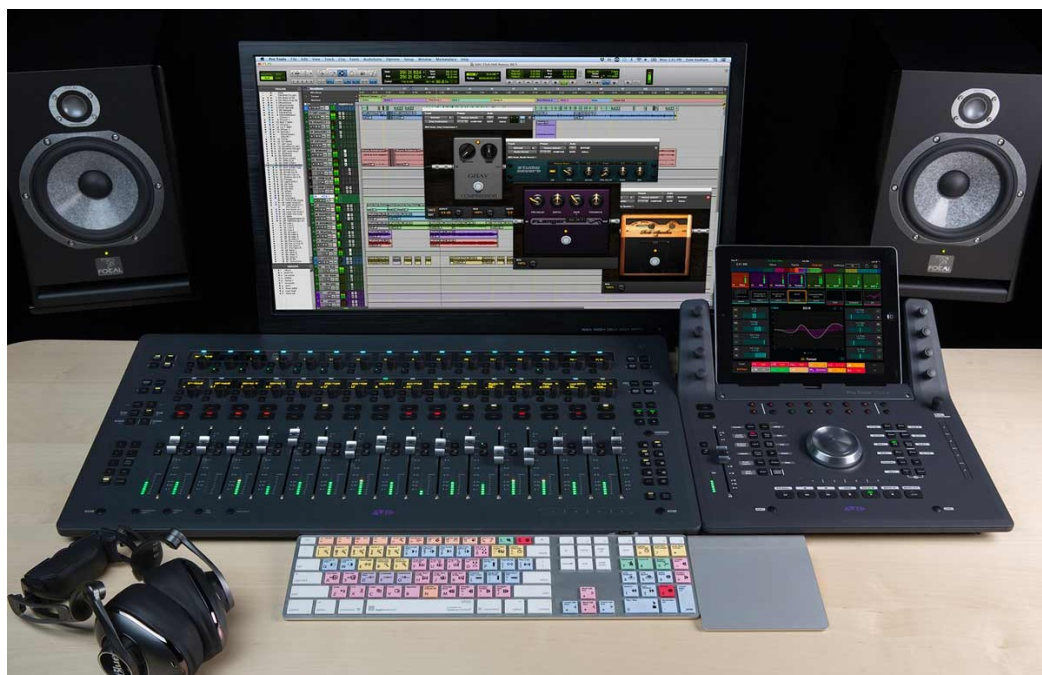


Рисунок 1.4 – Сучасна цифрова студія на основі DAW Pro Tools, MIDI-контролерів

В даний час звичайна пісня "збирається" по частинах, трек за треком: або кілька музикантів грають кожен свою партію, або це робить один музикант (грає за всіх). Використання МИДИ секвенсоров призводить до того, що деякі треки не мають нічого спільного з вихідним виконанням. Робота інженера і продюсера полягає в тім, щоб зібрати всі ці просторово-часові події і зробити з них музику, в якій кожна частина ідеально підходить до іншої. Щоб зробити це, потрібно бути трохи художником, трохи вченим. Необхідно знати фізичні основи здійснюваних перетворень і вміти грамотно користуватися обладнанням. Науковий аспект роботи полягає в тому, щоб знати, як з'єднати всі в єдину систему і як управляти параметрами, що впливають на обробку звуку. Художній включається, коли ви приймаєте рішення, які ефекти і звуки використовувати, яким повинен бути баланс і як розмістити різні партії в остаточному міксі.

Схема аналого-цифрового та цифрово-аналогового перетворення наведена на рисунку 1.5.

Основними характеристиками аналогово-цифрового перетворення є:

а) Частота дискретизації сигналу (частота квантування) - визначає швидкість проходження відліків в секунду. На практиці в основному застосовується до 96 000 кГц. Чим вища частота дискретизації, тим більша точність перетворення.

б) Амплітудна розрядність квантування - визначає кількість розрядів двійкового числа, що використовується для визначення кількості рівнів квантування. Наприклад, 16-розрядне квантування містить 65 536 рівнів квантування. На практиці застосовується переважно 16-розрядне, рідше 24- та 32-розрядне квантування.

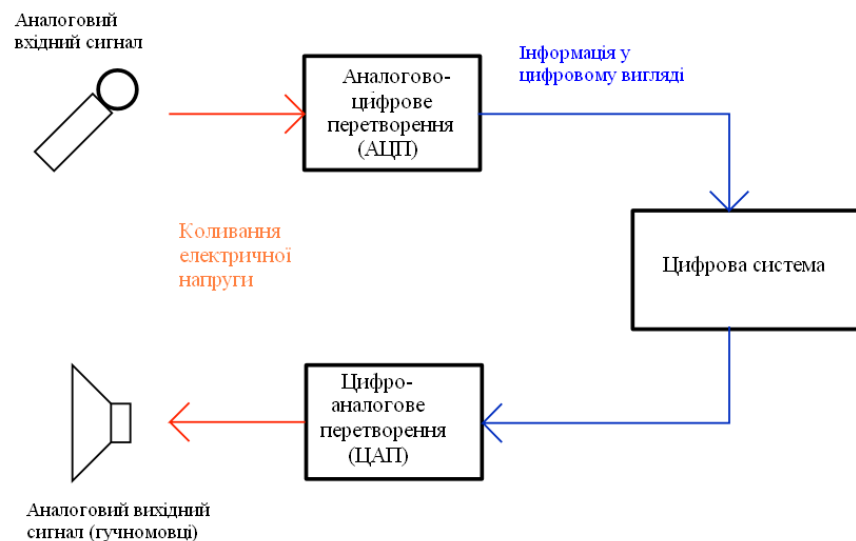


Рисунок 1.5 – Схема аналого-цифрового та цифрово-аналогового перетворення.

Після оцифрування, оцифрований звуковий сигнал може бути підданим цифровій обробці, що може включати застосування фільтрів або звукових ефектів.

## 1.2 Психоакустичні основи

Психоакустика - це наукова дисципліна, що вивчає особливості і закономірності процесу сприйняття звуків, їхнього впливу на людину — її свідомість, організм. Її основи були закладені Г. Гельмгольцем, який вивчав закономірності процесу сприйняття звуків і побудови мови. Психоакустика включає сприйняття простих і складних тональних сигналів, де досліджуються пороги слуху, формування відчуттів гучності і висоти, сприйняття складних звуків, бінауральний ефект і т. д.

Чистий тон має дві незалежні характеристики: частоту і силу (інтенсивність). Частота вимірюється в герцах, тобто визначається кількістю повних коливань за секунду. Інтенсивність вимірюється величиною пульсуючого тиску звукових хвиль на будь-яку поверхню і виражається у відносних, логарифмічних одиницях — децибелах (дБ).

Говорячи про фізіологічний процес сприйняття, звук оцінюється як високий або низький, а його сила сприймається як гучність. Висота — це суб'єктивна характеристика звуку, тісно пов'язана з частотою; звуки високої частоти сприймаються як високі.

Вухо реагує на звукові коливання різних частот неоднаково. Воно особливе тонко реагує на коливання середніх частот (від 1000 до 4000 Гц). У міру зменшення або збільшення частоти щодо середнього діапазону гострота слуху поступово знижується. На краях сприйманого діапазону частот звук повинен бути настільки сильним, що іноді фізично відчувається раніше, ніж людина його чує.

Люди реагують на звуки, як на явища, які супроводжуються цими звуками. Причому на різні звуки — як на різні явища. На низькі, галасливі і гучні звуки — як на небезпечні, страшні, тривожні; на високі, неголосні, мелодійні звуки — як на приємні і безпечні явища.

Формат системи відтворення визначає просторові характеристики відтвореного звукового матеріалу. При цьому кількість каналів може бути не рівна кількості каналів передачі й кількості каналів відтворення. Наприклад, існують

монофонічні системи, у яких використовуються декілька розподілених у просторі гучномовців, у які направляється ідентичний аудіосигнал (з такими системами знайомий, наприклад, будь-який відвідувач парків культури й відпочинку).

У традиційній стереофонічній системі ілюзія об'ємності досягалася за рахунок сполучення істинних і фантомних звукових образів, а також за рахунок використання ревербераторів і пристроїв затримки, застосовуваних при записі й мікшуванні.

Просторовий слух, тобто здатність визначати положення джерела звуку в просторі, досить точний: для коротких імпульсів точність локалізації становить  $0,7^\circ$ , для широкополосного шуму — близько  $3^\circ$ . При зміні спектра звуку в часі в нас виникає відчуття, що джерело переміщується.

Перші найпростіші аналогові схеми не передбачали можливості реального позиціонування джерел звуку, а тільки надавали вихідному монофонічному або стереофонічному матеріалу ілюзію глибини й об'ємності. У міру вдосконалювання цифрової техніки з'явилися нові цілі - домогтися як можна більше виразної локалізації джерел у звуковому полі.

Застосовувані в цей час складні психоакустичні технології враховують як особливості сприйняття, так і фізичні явища, такі як ефект затінення й дифракції звукових хвиль, зміна фазових і частотних параметрів залежно від часу приходу фронту хвилі до барабанних перетинок лівого й правого вуха, звукового тиску на позиції слухача при послідовному переміщенні реальних гучномовців або джерел звуку й т.д.

### **1.3 Цифрові аудіо-інтерфейси**

Аудіо-інтерфейс (звукова карта) – пристрій, що виконує цифрово-аналогове та аналогово-цифрове перетворення, тобто аналоговий сигнал з мікрофонів та інструментів перетворюється в цифровий аудіопотік.

В першому масовому персональному комп'ютері - IBM-PC - звукова карта на ньому не була передбачена, тому що він проектувався не як мультимедійна машина, а як інструмент для рішення наукових і ділових завдань.

В 1988 році фірма Creative Labs випустила пристрій Creative Music System (пізніше - Game Blaster) на основі двох мікросхем звукогенератора Philips SAA 1099, кожна з яких могла відтворювати по 6 голосів одночасно. Десь в цей же час, AdLib випустила свою карту на основі мікросхеми YM3812 фірми Yamaha. В ній для генерації звуку використали принцип частотної модуляції.

Незабаром Creative випустили карту на тій же мікросхемі, повністю сумісну з AdLib, але переважаючи її за якістю звучання. Ця плата стала основою стандарту Sound Blaster, який у 1991 році Microsoft включила в стандарт Multimedia PC (MPC). Однак ці карти мали ряд недоліків: штучне звучання інструментів і більші обсяги файлів, одна хвилина якості AUDIO-CD займала порядку 10 Мегабайт.

Зі зростанням потужності процесорів багато виробників перемкнулися на випуск карти для шини PCI. В 1998 році компанія Creative знову робить широкий крок у розвитку звуку й випуском карти Sound Blaster Live та встановлює новий стандарт для IBM PC, який в удосконаленому вигляді залишився й донині.

Для запису музики важливо, щоб синтез звуків відбувався з мінімальною затримкою. Відтворення звуку звичайно здійснюється за допомогою багатоканальних ЦАП, які модуль одночасно відтворювати звуків різної висоти й гучності, та обробляти звуковими ефектами в режимі реального часу. Інший шлях відтворення звуків полягає у використанні «аудіо-кодеків». Він вимагає відповідного програмного забезпечення, сумісності з MIDI та багатоканальної емуляції.

Нерідко звукові карти оснащуються двома вхідними роз'ємами. Один з них, line-in, призначений для підключення пристроїв високого рівню сигналу, таких як, наприклад магнітофон. Цифрова карта оцифровує цей сигнал і зберігає на жорсткому диску. Вхідний роз'єм microphone, призначений для підключення мікрофону або подібного пристрою низького рівня сигналу. Професійні звукові

плати оснащуються кількома входними роз'ємами, що дозволяє здійснювати багатоканальний запис звуку.

### 1.4 Динамічна обробка сигналів

Динамічна обробка – процес зміни динаміки звуку, вирівнювання його гучності. Ця процедура носить назву «компресія». Прилад, який для цього використовується має назву компресор і являє собою автоматичний регулятор гучності – рисунок 1.6.



Рисунок 1.6 – Фізична модель стерео-компресора

Звукорежисер при записі або відтворенні фонограми стежить за рівнем гучності, збавляючи регулятор рівня, якщо звук стає занадто гучним. Ці ж функції в автоматичному режимі може виконувати компресор. Таким було початкове застосування компресії. Компресія використовується і для груп інструментів, щоб тримати певні смуги частот в міксі на потрібному рівні. Пізніше, в пошуках нового звучання, компресор став часто використовуватися як спецефект.

Компресія - це один з найважливіших етапів обробки звуку, вона дозволяє «виділити», «ущільнити», «розгойдати», «вирівняти», акцентувати атаку інструмента або ж всього міксу. Компресор - це незамінний прилад при мастерингу і зведенні. Компресія використовується в усіх сферах звукової індустрії (музика, телебачення, радіо, кіно і т.д.), і особливо важлива в сучасній музиці. Правильно налаштований компресор робить звучання міксу більш «пружним», «ущільнює» вокал, робить бас і барабани більш «яскравими» і

«щільними». Компресія так само може додати «забарвлення», зробити сигнал «тепліше» і «товще» або «яскравіше» і «гостріше».

Недостатньо стиснуті музичні композиції можуть звучати нерозбірливо, «сухо» або «порожньо». Наприклад недостатньо стиснута доріжка гітари може звучати нерозбірливо і періодично пропадати в міксі, або ж навпаки вилазити на перший план в незапланованих місцях. Але це зовсім не означає, що всі інструменти потребують компресії.

Компресія - це один з найважливіших етапів мастерингу. При правильно налаштованому компресорі, мікс може отримати додаткову динаміку.

При всій своїй незамінності компресором дуже легко зіпсувати звучання інструменту або міксу. При неправильно налаштованому компресорі інструмент може звучати «порожньо» і «мляво» або мати «плаваючий», «мутний» звук. Якщо ж компресор налаштувати неправильно при мастерингу це може «вбити» всю динаміку міксу.

Основна складність при налаштуванні параметрів компресора - це те, що всі вони пов'язані між собою, і зміна одного з параметрів буде впливати на роботу інших. Розглянемо основні параметри компресора (рисунок 1.7):

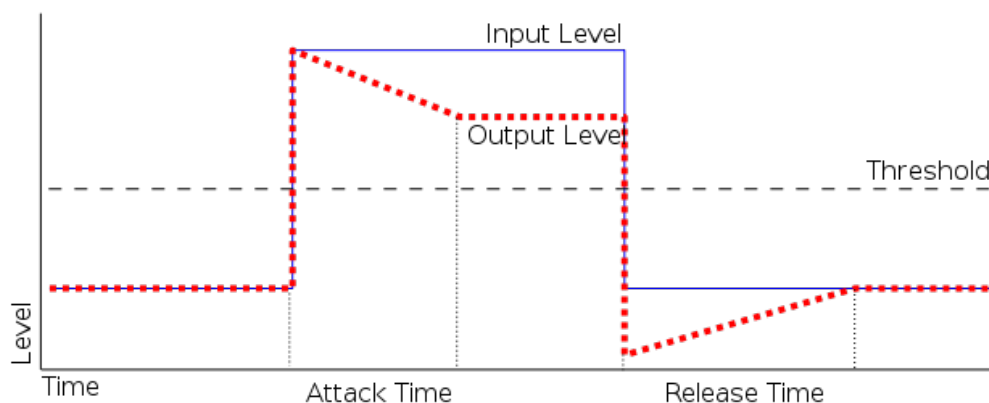


Рисунок 1.7– Схематичне зображення розташування параметрів компресора на часовій лінії.

- **Поріг (Treshold)** - якщо поріг спрацьовування встановити занадто високим, то звук піддається недостатньою обробці. Якщо ж занадто низьким, то можливо кілька варіантів: відбудеться компресія звуків котрі мають потреби в ній,

стиснеться весь сигнал і він просто заглушиться. Зазвичай поріг компресора виставляється першим, а вже потім інші параметри, після попередньої настройки параметрів спробуйте змінити поріг, тому як надмірне стиснення може відбуватися не через велику співвідношення або інших параметрів, а через занадто низький поріг спрацювання.

- Співвідношення (Ratio) - чим менше співвідношення тим менше компресор впливає на сигнал. Невелике співвідношення зазвичай застосовується коли необхідно незначно, акуратно стиснути динаміку, наприклад "ніжну" партію вокалу або інші "м'які" інструменти, така компресія працює м'яко і не допускає спотворень. Велике співвідношення застосовується коли необхідно значно обмежити динаміку, або лімітувати сигнал. Наприклад якщо трек містить широкий динамічний діапазон, і є необхідність вирівняти по гучності тихі й голосні частини треку. Відправною точкою для настройки параметра може послужити найбільш часто використовуване значення 3: 1.

- Атака (Attack) - час атаки налаштовується залежно від цілей яких ви хочете досягти. Якщо ви хочете придушити різкі атаки звуку, такі як наприклад удари по струнах гітари або по мембрані барабана, то встановіть дуже швидкий час атаки, тоді компресор не буде їх пропускати. Якщо ж ви не хочете торкатися різких атак звуку, а хочете стиснути тільки середні по тривалості звуки, то збільште час до того значення поки компресор не перестане стискати миттєві значення, і поки не почнеться компресія середніх по швидкості сигналів. Майте на увазі що швидкий час атаки може спричинити за собою появу спотворень в звуці (особливо якщо в звуці присутні низькі частоти), але все ж якщо є необхідність використовувати швидкий час атаки, то можливо кращим рішенням будуть використання многополосного компресора.

- Відновлення (Release) - якщо час атаки дуже швидкий і налаштований для придушення різких клацань звуку, то і час відновлення також має бути швидким. Найчастіше чим швидше час атаки тим також швидше і час відновлення і навпаки. Тому як швидкий час атаки зазвичай застосовується до різких динамічних звуків, і якщо час відновлення буде дуже довгим, то компресор не



буде встигати відновлюватися, і в результаті буде придушувати звуки що не потребують компресії, ефект буде схожий на впливання звуку. Але застосовуючи досить довгий час відновлення можна домогтися художнього ефекту розгойдування, наприклад для драм партії. Навпаки якщо час атаки довгий, то короткий час відновлення призведе до того що компресор занадто швидко буде переставати стискати сигнал і особливого толку від компресора не буде.

- Компенсація гучності на виході (Gain або коефіцієнт підсилення виходу) - всі компресори на виході мають параметр відновлення гучності. Після компресії звук стає тихіше, і дуже складно зіставити результати до, і після компресії, тому на виході гучність відновлюється параметром Gain або коефіцієнтом підсилення виходу. Деякі компресори володіють вбудованою функцією автоматичного відновлення гучності (Auto Gain), це полегшує роботу, але ця функція не завжди поводить себе коректно і періодично на виході все одно потрібно підстроювання гучності. Після відновлення гучності компресор то включається, то вимикається кілька разів кнопкою (байпас) для зіставлення результату, після чого можливо більш точно скорегувати налаштування.

У деяких компресорах присутній режим автоматичного контролю часу відновлення, що, повністю або частково, звільняє вас від необхідності його настройки, і виявляється корисним багатьом музикантам. Цей режим може забезпечити більш рівномірне стиснення різних частин сигналу. Час відновлення змінюється в залежності від сигналу, що поступає, принцип зміни часу може різнитися в залежності від моделі компресора, але в основі лежить схожий принцип. Час відновлення зменшується при появі динамічної частини сигналу з великою кількістю піків, і збільшується при зменшенні динаміки вихідного сигналу.

Також, є компресори з автоматичним настроюванням часу атаки. Такий компресор також зменшує час атаки при виникненні більш динамічних частин сигналу, і збільшує при зменшенні динаміки вихідного матеріалу.

Автоматичний режим полегшує роботу з матеріалом, який має різну динаміку в різних частинах. Але при всій цій зручності ви втрачаєте контроль над

сигналом. Автоматичний режим може не завжди правильно реагувати на піки сигналу, він може пригнічувати атаку інструмента, яку ви бажали б зберегти, або ж недостатньо стискати сигнал в потрібних місцях.

Для більш повного розуміння приладу, слід розглянути режими його роботи.

При піковому режимі (пik) компресор реагує на миттєві зміни амплітуди звуку. Такий режим добре підходить для обмеження сигналу коли необхідно встановити жорсткий поріг, через який не пройде жоден сигнал. Піковий режим добре підходить для значного втручання в динамічний діапазон, встигаючи реагувати на найменші і швидкі зміни в звуці. Прикладом може служити дикторський голос який повинен постійно добре прослуховуватися, також даний режим використовується при мастерингу, жорстко контролюючи динаміку сигналу. Дуже добре підходить для додання щільності треку гітари.

Режим RMS використовується в тих випадках, коли необхідно змінити тільки загальну динаміку сигналу. Такий режим не реагує на пікові, миттєві зміни в амплітуді сигналу, залишаючи їх без уваги. Наприклад, коли необхідно вирівняти звучання гітари і не чинити ніякого впливу на атаку інструменту, в результаті звучання гітари вирівнюється і зберігається атака.

Компресор в RMS режимі працює дуже непомітно, акуратно вирівнюючи гучність, залишаючи сигнал динамічним. Режим відмінно підходить для непомітної роботи компресора.

Більшість компресорів дозволяють обирати між типами компресії – Soft Knee та Hard Knee – рисунок 1.8.

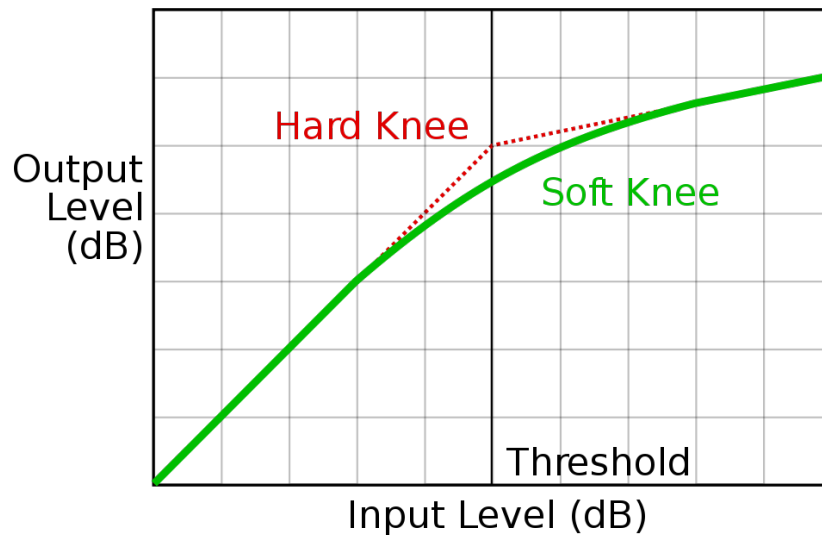


Рисунок 1.8 – Схематичне зображення типів компресора

- Жорстке коліно (Hard Knee) - це звичайний тип компресії, при якому сигнал, що перевищує заданий пороговий рівень, буде зменшуватися з постійним відношенням (відношення). При жорсткому коліні компресія сигналу починається різко, відразу ж після того як його рівень перевищить граничне значення. Якщо необхідно сильно стиснути сигнал, то при жорсткому коліні робота компресора буде дуже помітна, особливо при перетині сигналом порогового значення, такий звук може звучати дуже неприродно. Та ж проблема відбувається коли сигнал знову опускається нижче порогового значення компресора, компресія припиняється різко. Жорстке коліно характерно для жорстких лімітерів і деесер.

- М'яке коліно (Soft Knee) - в цьому режимі компресор може автоматично поступово збільшувати або зменшувати коефіцієнт стиснення поки він не досягне максимального або нульового значення, в залежності від того, наскільки сильно сигнал перевищив пороговий рівень або опустився нижче нього. Простіше кажучи - компресор починає спрацьовувати вже тоді, коли сигнал тільки наближається до порогового рівня, поступово збільшуючи коефіцієнт до тих пір, поки сигнал не досягне порогу (хоча дуже часто максимальне значення співвідношення досягається трохи вище порогового значення). Такий компресор працює менш помітно і кращий в більшості випадків.

Але якщо необхідно надати різку атаку інструменту (наприклад клацання малому барабану), то в такому випадку необхідно використовувати жорстке коліно, тому що м'яке не чинитиме необхідного ефекту.

Компресори, мають можливість роботи в режимі стерео зв'язку (stereo-linking), зберігають стерео картину сигналу, що проходить через нього. Ця функція дуже корисна, при сильній компресії стерео сигналу. Компресія може значно змінити стерео картину інструменту або міксу, так як рівні сигналів правого і лівого каналів можуть бути досить різні.

Стерео-зв'язок компенсує різницю рівнів каналів після компресії. На жаль, не всі компресори володіють цією функцією.

Деякі цифрові компресори здатні імітувати роботу аналогових моделей. Вони здатні переключатися між методами реалізації компресорів, один з найбільш часто використовуваних методів - це метод компресора розробленого на основі опто-електронних елементів (Opto). Як і при автоматичному режимі (розглянутому вище) у оптичного компресора плаваючі часи атаки і відновлення, мають довші значення. При збільшенні стиснення, час відновлення зменшується, при зниженні - збільшується. Оптичні компресори працюють м'яко і мають характерну «теплоту» звучання, за рахунок чого і набули широкого поширення.

## **1.5 Процесори ефектів**

Універсальні процесори ефектів - відносно нова група звукового устаткування або програм, у яких застосовуються алгоритми обробки, створені для реалізації великої кількості звукових ефектів. Процесор ефектів наведено на рисунку 1.9.



Рисунок 1.9 – Цифровий процесор ефектів T.C. Electronic

Процесор програмного ефекту модифікує сигнал відповідно до певного алгоритму, що створює потрібний ефект. Після цієї операції сигнал може бути перетворений з цифрового в аналоговий і направлений на звуковий вихід, збережений у цифровій формі для подальшого відтворення або редагування, або направлений іншим процесорам програмного ефекту для додаткової обробки.

Звукові ефекти — штучно створені або підсилені звуки, або обробка звуку, що застосовуються для підкреслення художнього або іншого змісту в кіно, відео іграх, музиці або інших медіа. Більше уваги їм буде приділено у наступному розділі.

Процесор ефектів має значну економічну вигоду, адже в рамках одного приладу користувач отримує велике розмаїття ефектів та їх комбінацій за порівняльно незначну суму.

## Висновки до розділу 1

В першому розділі було введено основні поняття, які необхідні для розуміння подальшої частини роботи, зокрема поняття секвенсорів, аудіо-інтерфейсів, процесорів ефектів, синтезаторів та їх видів, мікшерів, а також висвітлено основи психоакустики.

Секвенсори призначені для створення музичних фрагментів у вигляді нотних записів, аудіодоріжок, їх обробки та об'єднання в один трек, а також роботи з аудіофрагментами.

Для написання музики користуються або семплами - оцифрованими звуковими фрагментами, - або MIDI-послідовностями, звуки синтезують на синтезаторах або використовують «живі» інструменти.

## 2. СТВОРЕННЯ ЗВУКУ

### 2.1 Синтез звуку

Частотні коректори використовуються у всіх студіях звукозапису і звукового мовлення. З їх допомогою звичайно вирішуються чисто технічні питання, такі як, обмеження смуги звукового тракту, придушення низькочастотних шумів і мережевих наведень, корекція амплітудно-частотних характеристик (А ЧХ) мікрофонів, гучномовців і приміщень. Останнім часом при зведенні та мастерингу все більш широко частотна корекція застосовується для вирішення творчих завдань звукорежисерів зі створення художніх звукових ефектів і доданню звучанням нової забарвлення. Це стало можливо при індивідуальній частотній обробки майже кожного музичного інструменту і вокаліста.

Аналогові синтезатори (рисунок 2.1) синтезують звук за допомогою генераторів. Генератор (осцилятор) - пристрій, що генерує коливання обраної частоти – рисунок 2.2. У музикантів ці інструменти користуються популярністю, хоча багато з них вже давно зняті з виробництва. Аналогові синтезатори мають дуже теплий та глибокий звук, та дозволяють створювати нові унікальні тембри.



Рисунок 2.1 – Аналоговий синтезатор Virus TI

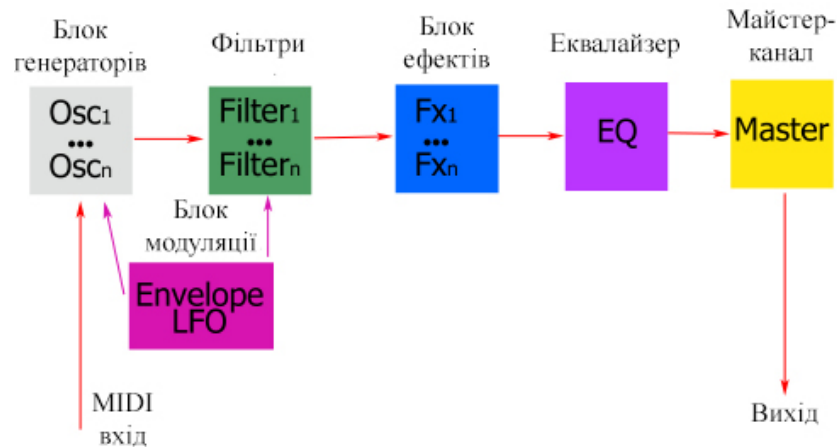


Рисунок 2.2 – Структурна схема синтезатора

В сучасних синтезаторах застосовуються різні методи синтезу. Вони розглянуті у додатку Б.

**1) Адитивний метод** – це перший метод синтезу. Він полягає в складанні кількох хвиль. Метод базується на теоремі Фур'є, яка говорить, що будь-яке періодичне коливання можна представити у вигляді суми синусоїдальних коливань різної частоти та амплітуди. Адитивний метод застосовується у всіх наразі існуючих синтезаторах, в яких більше одного генератора хвиль.

**2) Субтрактивний метод.** Новий тембр може бути отриманий шляхом зміни складових в спектрі початкового коливання. Даний процес можна умовно розділити на два етапи. Спочатку формуються основні коливання.

На другому етапі за допомогою частотних фільтрів з початкового коливання виділяють частотні складові, відповідні імітованому інструменту. Синтезом керують такі фільтри: резонансний – зі змінною основною частотою спрацьовування і шириною смуги пропускання (band) і фільтр нижніх частот (ФНЧ) – зі змінною частотою зрізу (cutoff).

**3) FM-синтез.** Він відноситься до найновіших методів синтезу звуку. Для нього необхідні мікропроцесори, що потужніші за ті, що необхідні при субтрактивному або аддитивному методах. Різні з'єднання таких генераторів та подальше додавання їх вихідних сигналів зробили можливим отримання величезної кількості нових електронних звуків.



Суть методу полягає в частотній модуляції. Частота зміни сигналу відбувається за законом деякої керуючої напруги.

4) **Широтно-імпульсна модуляція.** ШІМ або PWM (Pulse-Width Modulation) змінює ширину імпульсу сигналу без зміни його періоду.

4) **Метод фізичного моделювання.** Коли необхідне професійне модульоване звучання, наприклад, акустичної гітари. У цьому випадку користуються семплером або ромплером.

5) **Гранулярний синтез.** Він є послідовною генерацією звукових гранул. Кожна гранула являє собою ультракоротку частку звуку довжиною в 10-100 мс. А звук, в свою чергу, є результатом відтворення гранул.

6) **Формантний синтез.** В основі методу формантного синтезу (Formant Shaping Synthesis) закладено відтворення в спектрі звуку акустичних резонансів. А вони, в свою чергу, формуються з груп обертонів, які називаються формантами. Спочатку формантний синтез асоціювався з синтезом мови. Адже мовний апарат людини має таку будову, що ніс і глотка - це, по суті, природні фільтри. Формуючи звук, ці фільтри чисто механічно приймають певні форми, виходячи з яких в звуковому потоці утворюються групи акустичних резонансів та «згустки» обертонів.

## 2.2 Звукові ефекти

Звукові ефекти (англ. Sound effects або англ. audio effects) — штучно створені або підсилені звуки, або обробка звуку, що застосовуються для підкреслення художнього або іншого змісту в кіно, відео іграх, музиці або інших медіа.

Типовими звуковими ефектами, які застосовуються при підготовці аудіоматеріалу є такі:

а) луна (англ. echo delay) — один або декілька затриманих сигналів додаються до оригінального. Для того, щоб ефекти сприймалися як відлуння, затримка мусить бути порядку 50 мілісекунд або більше. Ефект може бути

досягнутим за допомогою як аналогової, так і цифрової обробки. Якщо значна кількість затриманих сигналів відтворюється упродовж кількох секунд, результуючий сигнал створює ефект присутності у великому приміщенні і сприймається як ефект реверберації – рисунок 2.3.

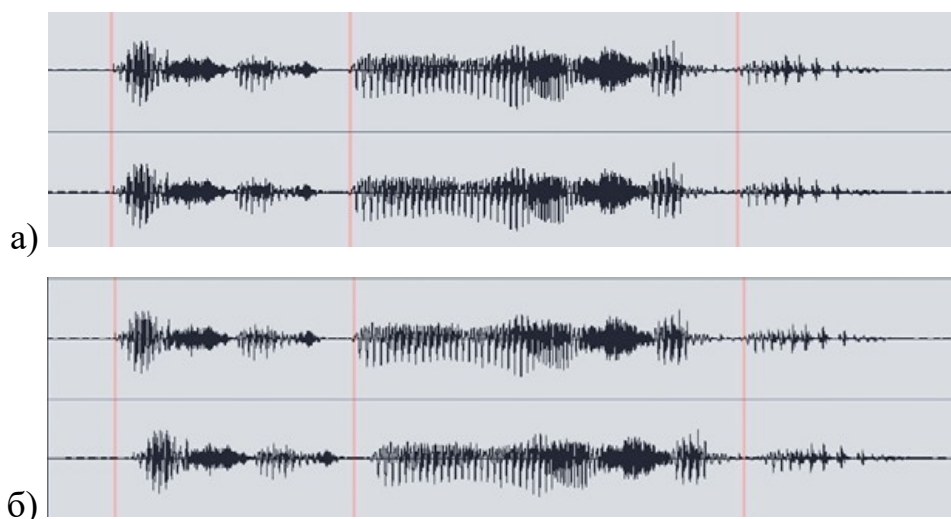


Рисунок 2.3 – Wave-форма сигналу до (а) та після (б) обробки дилеєм.

б) фленжер (англ. flanger) — затриманий сигнал додається до оригінального із змінною затримкою до 10 мілісекунд. Цей ефект досягається цифровою обробкою, хоча раніше досягався відторенням запису на двох синхронізованих програвачах та наступним мікшуванням. Для досягнення ефекту оператор поміщав свій палець на кромку (англ. flange) одного з дисків, що трохи заповільнювало його рух, а відтак і його звучання. Коли оператор прибирав свій палець, механізм прискорював рух диску до синхронізації з іншим.

в) фейзер (англ. phaser) — сигнал роздвоюють, частина його фільтрується фазовим фільтром для створення фазового зсуву, після чого фільтрований та нефільтрований сигнали змішуються – рисунок 2.4. Ефект фейзеру подібний до ефекту фланжеру, однак важко відтворюваний на аналоговій апаратурі. Фейзери використовують для досягнення «синтезації» або «електронізації» натуральних звуків, таких як людська мова. Голос персонажу С-ЗРО з фільму Зоряні війни був створений шляхом редагування голосу актора фейзером.



Рисунок 2.4 – Wave-форми звуків до та після обробки фейзером

г) хорус (англ. chorus) — затриманий сигнал додається до оригінального з постійною затримкою. Затримка має бути малою для уникнення ефекту ехо, але більшою за 5 мс, в інакшому разі інтерференція хвилі призведе до ефекту фленжеру. Часто затримані сигнали трохи зсувають по висоті для досягнення реалістичнішого ефекту ансамблевого музикування. Схема зображена на рисунку 2.5.

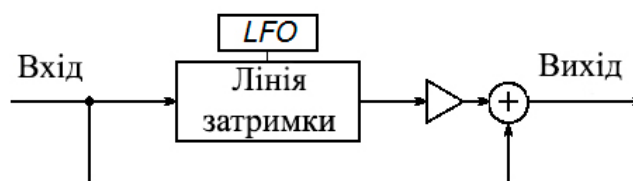


Рисунок 2.5 – Схема реалізації ефекту «хорус»

д) еквайзер (англ. equalization) — різні частотні смуги підсилюються або послаблюються для корегування тембральних характеристик. Є різновидом фільтрації звуку. Скорочено — EQ.

е) фільтрація звуку — процес, що використовує різні види звукових фільтрів. Смугова фільтрація голосу може симулювати ефект телефонної розмови.

ж) овердрайв (англ. overdrive) ефект, подібний до ефектів fuzz box продукує спотворені звуки, може імітувати голос роботів або радіотелефонні

сигнали. Класичний овердрайв спричиняє до обрізки (clipping) сигналу, коли його абсолютна величина перевищує певний поріг (threshold).

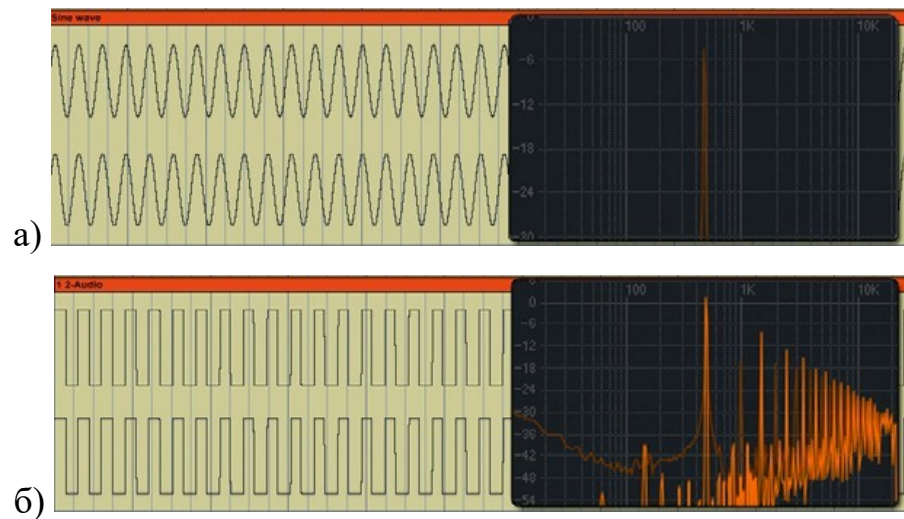


Рисунок 2.6 – Сигнали до та після ефекту «дісторшн» з їх спектром гармонік

з) звуковисотний зсув (англ. pitch shift) підвищує або знижує висоту звукових сигналів. Цей ефект часто використовується для корекції співу поп-співаків, що співають фальшиво. Швидкість відтворення (темп) при цьому залишається сталим.

й) розтягнення часу (англ. time stretching) — на відміну від звуковисотного зсуву, цей ефект змінює швидкість відтворення аудіосигналу (темп), не змінюючи його висоти.

к) ефект резонансу — підсилює обертони на заданих частотах.

л) Компресія звуку (англ. compression) — зменшення амплітудного діапазону звуку з метою запобігання мимовільних коливань динаміки. Компресію звуку не слід плутати зі стисканням звукових даних.

м) 3D аудіо ефекти — поміщає звуки за межами стереобазы

н) обернене відлуння (англ. reverse echo) — ефект наростання, коли відлуння звуку випереджає сам звук. Винахідниками цього ефекту вважаються Jimmy Page та Led Zeppelin (напр пісня Whole Lotta Love).

о) вокодер - цей ефект надає інструменту синтетичне звучання. В якості модулюючого сигналу зазвичай використовується людський голос. Несучий може бути різним - струнні, духові інструменти або навіть хор.

Його реалізація досить складна - за допомогою спеціальних фільтрів діапазони вхідних сигналів розбиваються на смуги (аналогічно до еквалайзера), після чого модуляція переноситься з одного сигналу на інший і результат мікшується для отримання вихідного сигналу – рисунок 2.7. [4]

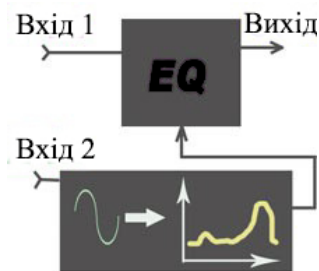


Рисунок 2.7 – Схема реалізації вокодера

## 2.3 Звукові обробки

### 2.3.1 Фільтрація

**Фільтрація** - це процес обробки звукового сигналу частотновиборними пристроями для зміни спектру (тембру) вихідного сигналу.

У аудіотехніки частотна корекція звукових сигналів здійснюється за допомогою таких пристроїв і фільтрів, які можуть бути у вигляді окремої апаратури або програмного продукту:

- фільтри обмеження смуги частот,
- фільтри плавного підйому і спаду АЧХ,
- смугові фільтри,
- фільтри «присутності»
- графічні еквалайзери,
- параметричні еквалайзери,
- параграфічні еквалайзери,

- кросовери.

Фільтри, використовувані при частотній корекції, за принципом реалізації, перш за все, поділяються на аналогові і цифрові. У свою чергу аналогові фільтри можуть бути виконані як на пасивних, так і на активних елементах. За принципом роботи всі фільтри поділяються на лінійні і нелінійні.

**High-pass filter (HP).** Фільтр верхніх частот. Даний тип фільтра пропускає частоти, які знаходяться вище частоти зрізу. Частоти, які знаходяться нижче cut-off, фільтр «обрізає» - рисунок 2.8.

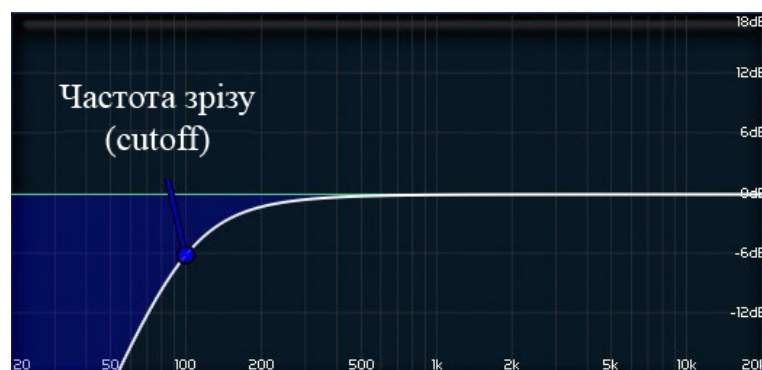


Рисунок 2.8 - High-pass filter

**Low-pass filter (LP).** Фільтр нижніх частот. Даний тип фільтра робить протилежне - пропускає частоти нижче частоти зрізу – рисунок 2.9.

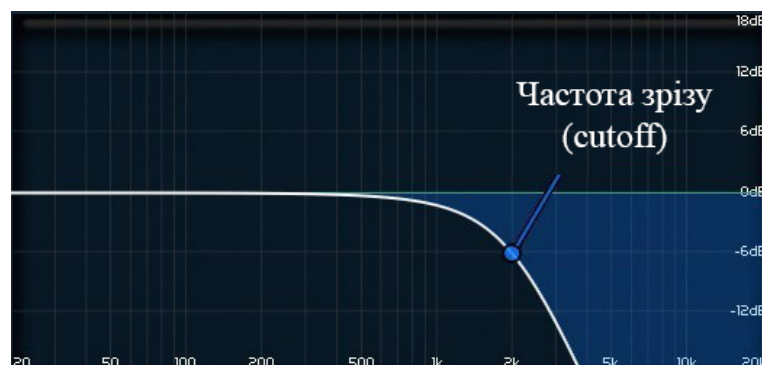


Рисунок 2.9- Low-pass filter

**Band-pass filter (BP).** Смуговий фільтр. Даний тип фільтра працює за принципом ослаблення (обрізання) сигналу в частотах вище і нижче частоти зрізу,

при цьому він пропускає сигнал. Він побудований на основі одночасного використання фільтра нижніх і верхніх частот – рисунок 2.10.

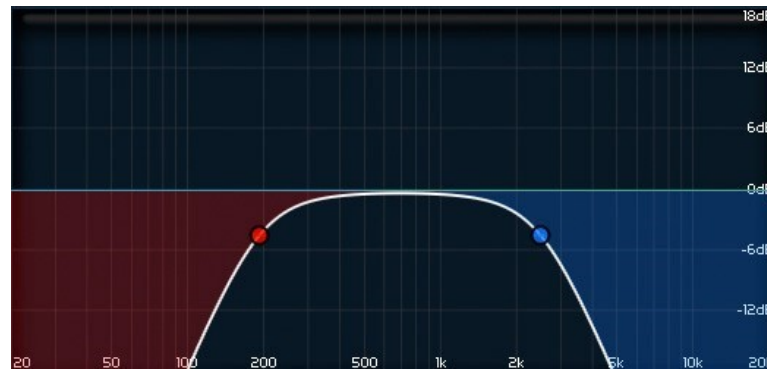


Рисунок 2.10 - Band-pass filter

**Notch filter** - режективний фільтр. Даний тип фільтра - це повна протилежність смугового фільтра. Його основне завдання полягає в тому, щоб повністю придушити смугу частот з центральною частотою cut-off. По суті, він реалізується двома фільтрами: high-pass і low-pass, причому вони не перетинаються – рисунок 2.11.

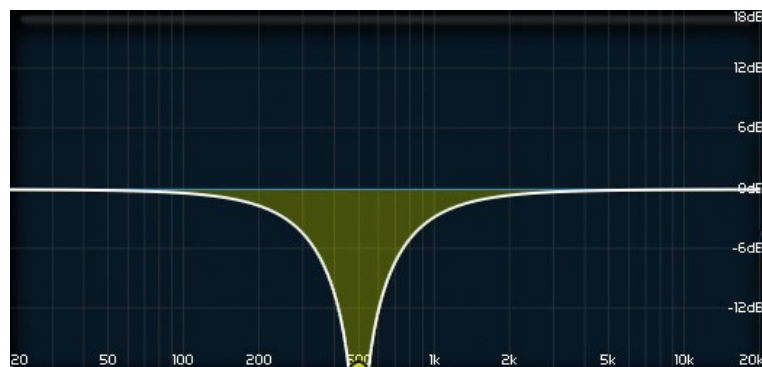


Рисунок 2.11 – Режективний фільтр

**Shelving filter** – шельф фільтр. Даний тип фільтра можна зустріти, наприклад, в якості регулятор баса або високих в акустичній системі.

На протипагу pass-фільтрам, які тільки обрізають частоти, шельф фільтри також можуть посилювати вибрані частоти – рисунок 2.12.

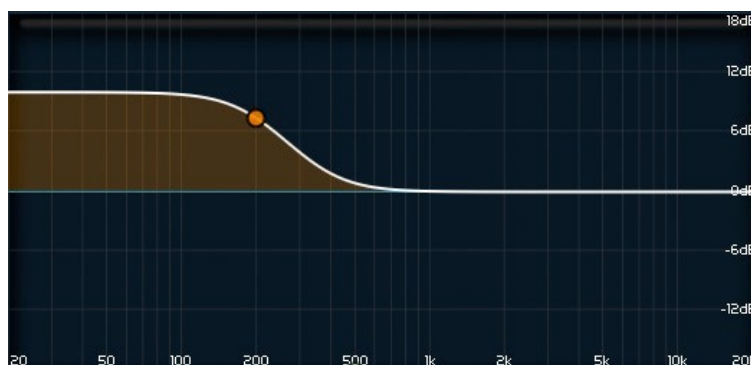


Рисунок 2.12 - Shelving filter

**Bell filter.** Параметричний фільтр (дзвін). Як і у випадку з шельф фільтрами, параметричні фільтри можуть посилювати і послаблювати. Крива фільтрів нагадує дзвін, як видно з малюнка 2.13.

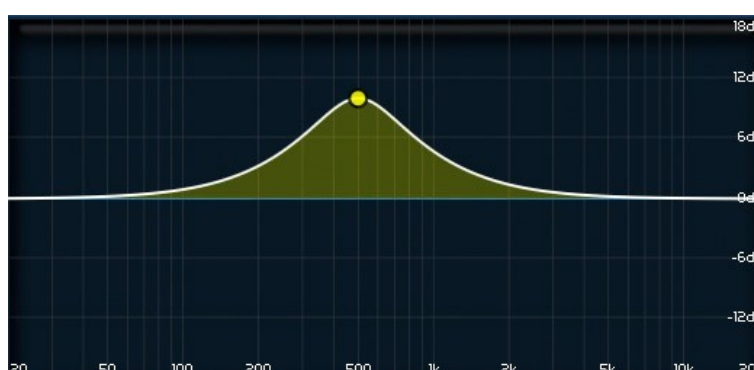


Рисунок 2.13 - Bell filter

### 2.3.2 Еквалізація

Еквалайзер (EQ) - це пристрій, що об'єднує кілька фільтрів і призначений для зміни спектральних властивостей (тембру) сигналу. Вони характеризуються кількістю регульованих по рівню частотних фільтрів (смуг). Перші студії були оснащені низькоякісними обладнанням, яке спотворювали звук, і еквалайзер застосовувався для його частотної корекції - рисунок 2.20.

Еквалайзери допомагають вирішити наступний ряд завдань:

- Баланс частотного спектра.



- формування/підвищення ефекту присутності звуків, так званого «Презенс». Презенс - ефект присутності, що отримується шляхом підвищення смуги в районі 3 - 5 кГц, залежно від інструменту.
- поділ звуку або інструменту на складові;
- передавання почуття або настрою. Посилення або ослаблення різних смуг частот впливає на емоційний відтінок звуку;
- підвищення глибини звучання;
- поліпшення стерео бази звуку;
- точне корегування рівня різних частот звуку;
- шумозаглушення або видалення небажаних гармонік звуку;
- компенсація поганого запису;

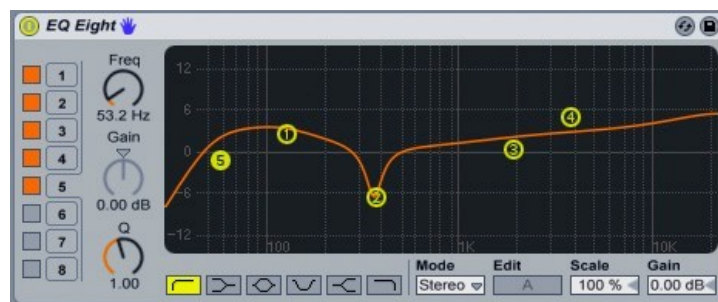


Рисунок 2.14 – Стандартний еквайзер EQ Eight з Ableton Live

### 2.3.3 Динамічний діапазон

Динамічний діапазон - це різниця між найтихішим та найгучнішим звуком.

Наприклад, під час запису сигналу на вініл з'являється проблема з частотним діапазоном його потрібно помістити в діапазон 60 dB.

Динамічний діапазон різних систем вказано в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Динамічний діапазон різних систем

Система	Середній динамічний діапазон (dB)
ЦАП / АЦП	122
Людський слух	120
Мікрофон Neumann U87	110
CD	96
FM-радіо	65
Вініл	60

Звуки оркестру тихіше 30 dB можна просто вирізати (це можна зробити, наприклад, за допомогою Gate) але це влаштує тільки невибагливого слухача. Щоб стиснути динамічний діапазон необхідно виконати компресію – рисунок 4.15. [6]

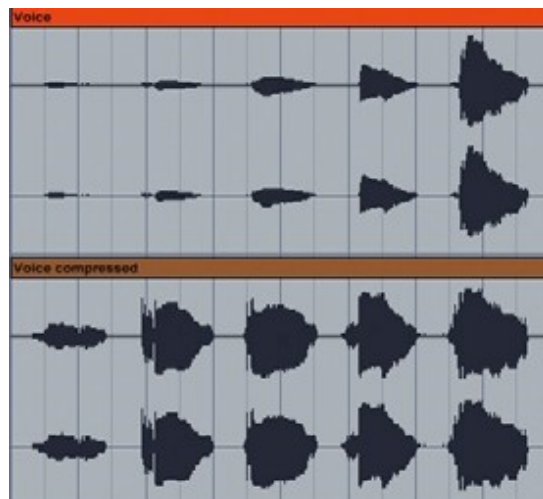


Рисунок 2.15 – Зверху – голос з великим динамічним діапазоном, знизу – з малим після компресії

### 2.3.4 Компресія

Компресія - це один з найважливіших етапів обробки звуку, вона дозволяє «виділити», «ущільнити», «розгойдати», «вирівняти», акцентувати атаку інструмента або ж всього міксу. Компресор - це незамінний прилад при мастерингу і зведенні.

Компресія - це один з найважливіших етапів мастерингу. При правильно налаштованому компресорі, мікс може отримати додаткову динаміку.

При всій своїй незамінності компресором дуже легко зіпсувати звучання інструменту або міксу. При неправильно налаштованому компресорі інструмент може звучати «порожньо» і «мляво» або мати «плаваючий», «мутний» звук. Якщо ж компресор налаштувати неправильно при мастерингу це може «вбити» всю динаміку міксу. [5, с.117-201]

## **Висновки до розділу 2**

Другий розділ присвячений способам синтезу звуку. Процес синтезу - процес, який відбувається всередині синтезаторів. Синтезатори бувають монофонічними або поліфонічними. В сучасних синтезаторах застосовуються різні методи синтезу, основні з яких – адитивний, субтрактивний, формантний, гранулярний, ШІМ, метод фізичного моделювання.

Динамічна обробка – процес зміни динаміки звуку, вирівнювання його гучності. Ця процедура носить назву «компресія». Прилад, який для цього використовується має назву компресор і являє собою автоматичний регулятор гучності.

Звукові ефекти (англ. Sound effects або англ. audio effects) — штучно створені або підсилені звуки, або обробка звуку, що застосовуються для підкреслення художнього або іншого змісту в кіно, відео іграх, музиці або інших медіа.

### 3. СТВОРЕННЯ ЗВУКОВИХ ЕФЕКТІВ АНАЛОГОВИМ СПОСОБОМ

#### 3.1 Загальні теоретичні відомості

##### 3.1.1 Блоки ефектів

Блок ефектів (англ. Effects unit) - електронний пристрій, призначений для обробки звуку, зазвичай музичного, барабанів або вокалу. Часто використовуються в музичних студіях для поліпшення звуку, його «прозорості» або навпаки. Окремі моделі тільки фарбують звук, інші - радикально його змінюють. Блок ефектів використовуються як в студіях, так і при живих виступах.

Найперші звукові ефекти були виключно студійними. З середини до кінця 1940-х звукоінженери і музиканти-експериментатори, такі як Лес Пол почали використовувати катушковий магнітофон для створення ефектів луни, а також незвичайних футуристичних звуків. Перші педалі почали створюватися на початку 60-х років в основному учасниками і послідовниками британської хвилі, гітари яких звучали недостатньо яскраво, неголосно, і у яких був «слабкий» сустейн.



Рисунок 3.1 - Лампова педаль-передпідсилювач «Vox — CoolTron Brit Boost»

Більшість педалей ефектів на даний момент є транзисторними або побудованими на інтегральних мікросхемах, але не менш популярними є лампові педалі ефектів, які часто за розмірами більше транзисторних і, як правило, вимагають зовнішнього джерела живлення, але при цьому вони видають більш «теплій» звук.

### **3.1.2 Короткі відомості про ефект «дісторшн»**

У середині 50-х, коли електрогітари стали популярними, усі підсилювачі були розроблені для вокалу, і вони не дуже підходили гітаристам. Єдиний спосіб отримати спотворення - повернути гучність на максимум. Підійшовши до шістдесятих років, гітаристи «розігнали» гучномовці, щоб видати нечіткий звук. Пізніше були створені перші коробки з ефектом спотворення для імітації звуку надмірних ампер.

У наші дні більшість підсилювачів мають вбудовані спотворення, але ефекти спотворення все ще популярні.

Еталонний ефект дісторшн відбувається від ламп, які перевантажені, щоб вони створювали плавний співочий звук. Ніщо не може імітувати лампи, хоча є мільйон різних "спотворень звуку". Зазвичай для ефектів спотворення використовуються твердотільні схеми, такі як транзистори, підсилювачі та діоди, але є кілька комерційних ефектів на лампі, наприклад, Tubester Red Red Chili або Stai PAIA In Box Kit.

Overdrive - це природний і плавний звук, тоді як дісторшн - більш грубий. Fuzz - це металевий і дуже грубий тип спотворень, який перетворює звук гітари в нечіткий звук.

Для прикладу, Крейг Андертон називає майже всі свої дісторшни "фузами", незалежно від того, чи це дісторшн, овердрайв чи фузз. Їх відмінності зведено до таблиці 3.1

Таблиця 3.1. Відмінності між ефектами спотворення

Тип спотворення	Частота зрізу вхідного ФВЧ	Обмежувач	Частота зрізу вихідного ФНЧ
фузз	немає	“жорсткий”	4..8 кГц
дісторшн	400 Гц..3 кГц	“средній”	3..6 кГц
овердрайв	100 Гц..800 Гц	“м’який”	3..6 кГц
сустейн	100 Гц	“средній”	0,8..1,5 кГц

### 3.2 Елементи схеми

**Операційні підсилювачі.** Операційні підсилювачі є найпоширенішими компонентами у створенні дісторшну. Оп-підсилювачі можуть бути:

1. Інвертуючі
2. Неінвертуючі
3. Диференціальні

Диференціальні для створення звукових ефектів використовуються дуже рідко.

**Неінвертуючий підсилювач (рисунок 3.2)** - це схема, де вхід підключений до неінвертуючого (+) входу підсилювача і цикл зворотного зв'язку знаходиться між інвертованим входом (-) та виходом.

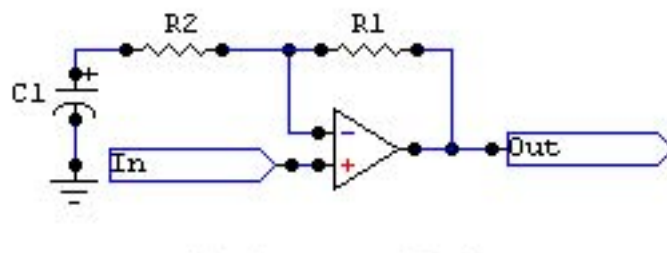


Рисунок 3.2 – Неінвертуючий попередній підсилювач

Коефіцієнт посилення неінвертуючого підсилювача встановлюється резисторами R1 і R2. Коефіцієнт підсилення дорівнює  $(R1 + R2) / R2$ . Значення в кілька кОм буде хорошим вибором. Особливістю неінвертуючого підсилювача є C1. Цей конденсатор разом з R2 утворюють фільтр низьких частот (пояснено

далі). Недоліком використання неінвертуючих підсилювачів є те, що вони не можуть мати коефіцієнт посилення менше 1, а це означає, що вони не можуть послабити сигнал. Але це не потрібно для педалей ефектів.

**Інвертуючий підсилювач** (рисунок 3.3) - це схема, де вхід підключений до інвертуючого (-) входу підсилювача через резистор. Неінвертований (+) вхід підключений до землі.

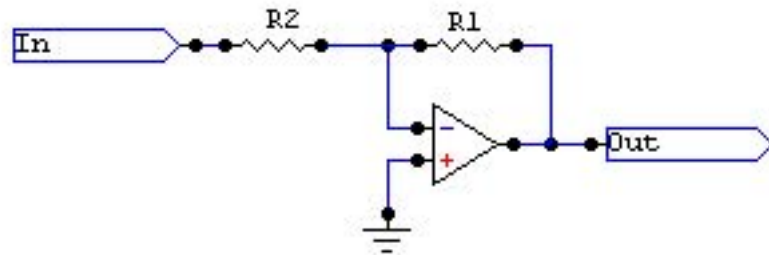


Рисунок 3.3 – Інвертуючий попередній підсилювач

Посилення інвертуючого підсилювача встановлюється резисторами R1 і R2. Коефіцієнт посилення дорівнює  $R1 / R2$ . Щоб уникнути втрати тону, підсилювачі та ефекти повинні мати вхідний опір понад 100 кОм. І так, вхідний резистор R2 повинен бути не менше 100 к. Це означає, що щоб отримати коефіцієнт підсилення 10, R1 повинен був бути 1М або більше. На жаль, високі значення резистора означають високий рівень шуму.

**Високо- та низькочастотні фільтри** (рисунок 3.4). Щоб правильно функціонувати, ефект повинен мати фільтри для зменшення посилення деяких частот. Фільтри зрізатимуть частоти, які посилювати не потрібно. Це високі радіочастоти та низькі частоти шуму. Простий фільтр формується резистором і конденсатором, замкнутим на землю. Високочастотний фільтр дозволяє пропускати частоти, що перевищують граничну частоту, а нижчі частоти скачують. Фільтр низьких частот - навпаки.

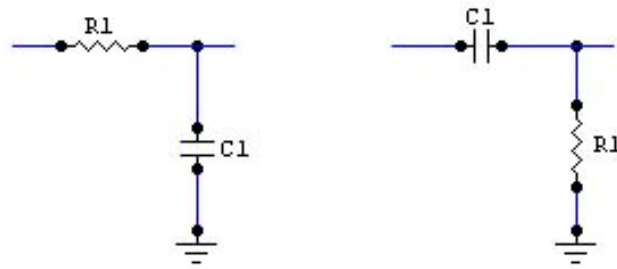


Рисунок 3.4 – Фільтри низьких та високих частот

Розрахунок граничної частоти базується на цій формулі:

$$f = 1/(2 * \pi * R1 * C1)$$

Де  $f$  - частота в герцах (Гц),  $R1$  - значення  $R1$  в омах, а  $C1$  - значення  $C1$  у фарадах (F). Якщо значення  $C1$  є мікрофарадами ( $\mu F$ ),  $R1$  повинні бути в мегаомах.

Хорошими граничними значеннями частоти є 40 Гц - 30 000 ГГц (30 кГц).

Обчислення значення  $C1$  такою формулою:

$$C1 = 1/(2 * \pi * R1 * f)$$

#### Джерела живлення.

**Біполярні** (рисунок 3.2). Блоки живлення можна розділити на два типи: біполярні та однополярні. Звичайний акумулятор є однополярним джерелом живлення. Багато трансформаторних ланцюгів змінного струму використовують в якості біполярних джерел живлення. Однак батареї також можна використовувати.

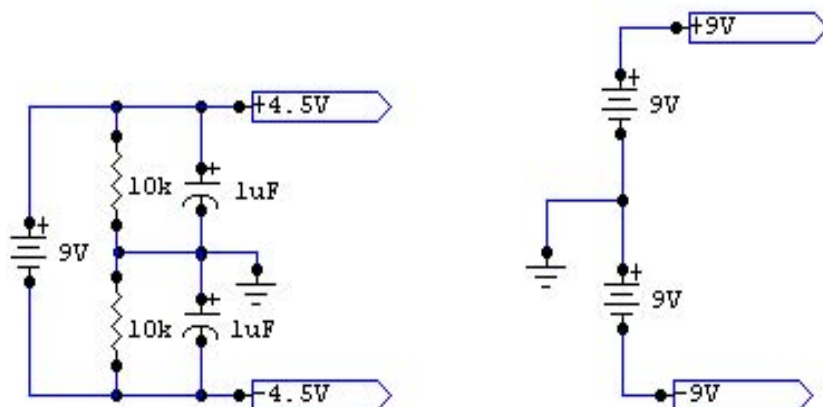


Рисунок 3.5 – Біполярні джерела живлення



Біполярне живлення використовується рідко, але часто зустрічається з невеликими конструкціями підсилювачів. Обидва вони можуть бути використані для живлення операційного підсилювача, якщо не потрібно використовувати зміщення (biasing, описано далі).

**Зміщення при використанні однополярних джерел живлення** (рисунк 3.6). Зсув - це поширений спосіб живлення підсилювача під час використання однополярних джерел живлення, таких як батареї. Зсув проводиться шляхом підключення двох резисторів від +9В до землі до половини напруги.

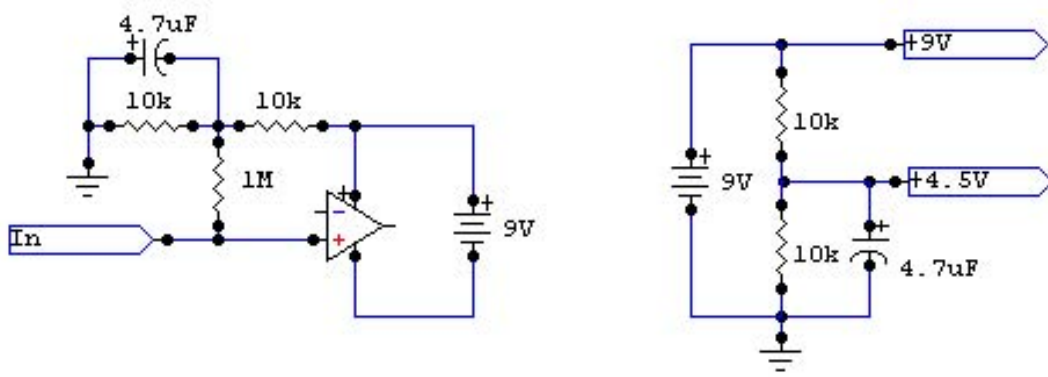


Рисунок 3.6 – Зміщення однополярного джерела живлення

Вищезазначені схеми є простими підсилювачами змінного струму. Вони мають два резистори, підключений від акумулятора + роз'єм до землі та конденсатор для зменшення шуму. Подібне зміщення використовується майже у всіх ефектах дісторшн, таких як Ibanez Tube Screamer, MXR Distortion + та ProCo Rat.

**Ручки та елементи керування.** Ефекти дісторшн зазвичай мають три елементи керування на них: Драйв, Гучність і Тон. Управління драйвом (рисунк 3.7) регулює величину спотворень, які створює ефект. Гучність (рисунк 3.8) задає кількість сигналу, який ефект подає на підсилювач. І тон регулює забарвлення звуку, що виходить із ефекту. Контроль тону (рисунк 3.9) - це зазвичай регульований фільтр низьких частот.

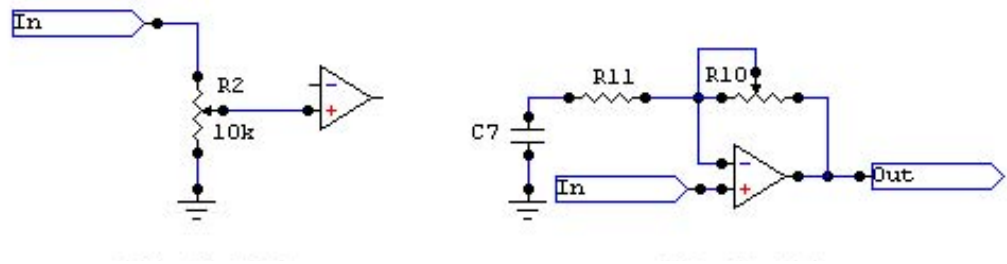


Рисунок 3.7 – Схеми керування драйвом

Наведені схеми використовують два різні способи контролю кількості спотворень. Перший - це регулювання гучності перед підсилювачем. Це обмежує кількість сигналу, що надходить у ланцюг. Другий замінює резистор налаштування приводу підсилювача. Поворот ручки потенціометра змінює посилення підсилювача. Це також змінює частоту згортання високочастотного фільтра навколо підсилювача.

Нижче наведено схему регулювання гучності. Вона майже однакова на всіх ефектах. Конденсатор захищає підсилювач від постійного струму, що виходить з підсилювача. Це також працює як контроль тону, тому рекомендують використовувати величину конденсатора такою, щоб вона не впливала на тон. 10 мкФ повинні це зробити.

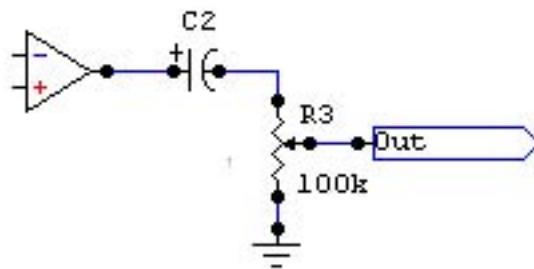


Рисунок 3.8 – Схема керування гучністю

Наступні дві схеми представляють різні схеми керування тоном. Перша тональна схема дуже поширена. Це змінний фільтр низьких частот. Хорошими значеннями конденсатора є від 100k до 500k.

Другий - складніший ланцюг, взятий з педалі ефектів під назвою Big Muff. Він має низькочастотний ( $R1$  і  $C1$ ) і високопрохідний ( $R2$  і  $C2$ ) фільтр і потенціометр ( $R3$ ), який використовується для управління фільтрами. Коли потрібно лише трохи налаштувати тон, використовують просте управління тоном. Якщо потрібен універсальний регулятор тону, який може охопити весь діапазон тонів, використовують Big Muff.

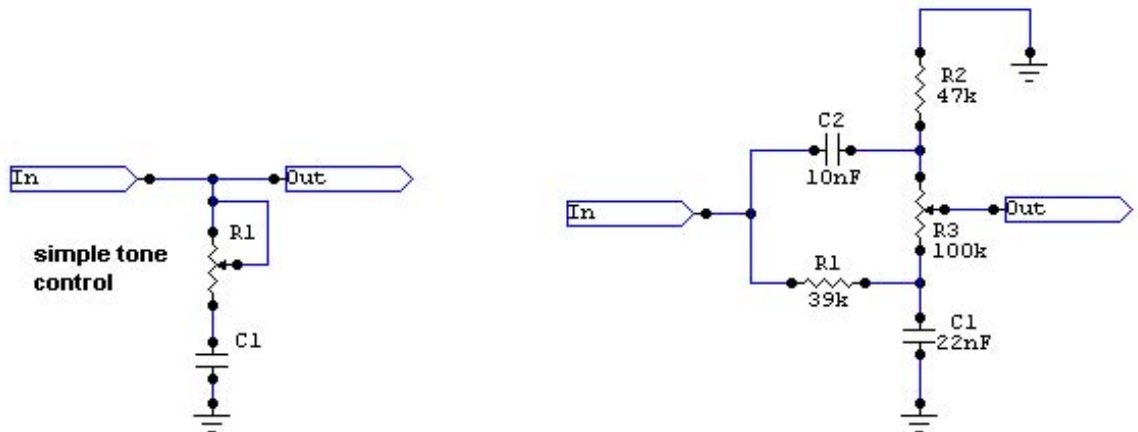


Рисунок 3.9 - Схеми керування тоном

**Діоди відсікання.** Вибір діодів відсікання дісторшну є найважливішою частиною процесу проектування.

На рисунку 3.10 зображено м'які і жорсткі схеми з діодами для відсікання (soft і hard). М'яке відсікання м'яко заокруглює піки сигналу, а жорстке відсікання грубо скорочує пікові сигнали.

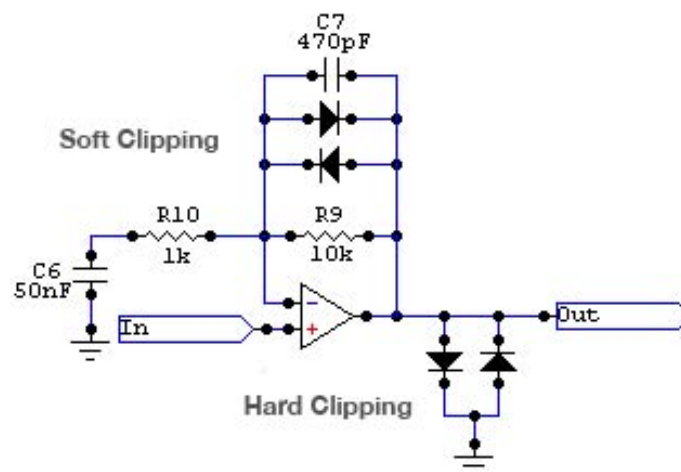


Рисунок 3.10 – Схема відсікання

М'яка обрізана хвиля м'якше округлена, ніж жорстко обрізана (рисунок 3.11). М'яке відсікання проводилося за допомогою поєднання діодів кремній / германій (1N4001 та 1N34), а жорстке відсікання - з двома діодами кремнію (1N914). Існує безліч варіантів відсікання діодів. Використовують 1N4001 (Si), 1N34 (Ge), 1N270 (Ge), 1N914 (Si) або світлодіоди.

Більш детально про це йдеться в додатку Д.

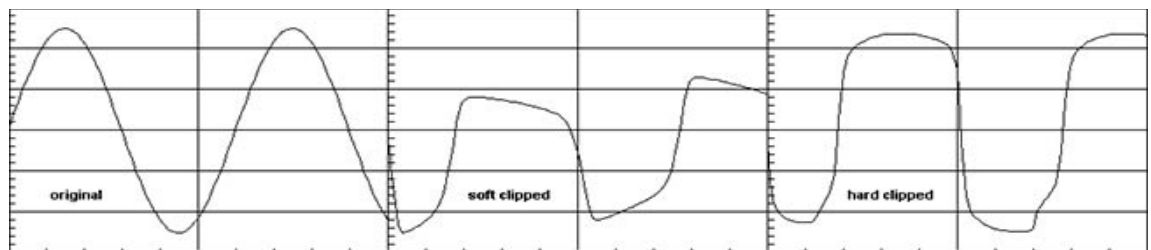


Рисунок 3.11 – Осцилограми типів відсікання сигналу

На рисунку 3.12 зображено специфічні схеми з діодами для відсікання. Перша має один діод з одного боку та два - з іншого. Це знижує позитивні чи негативні піки (залежно від того, як ви підключили діоди) більше, ніж з іншого боку.

Друга - з дизайну Джека А. Ормана та Аарона Нельсона «Shaka Braddah III». Для створення відсікання використовується діоди і MOSFET транзистори. Це дає приємне блюзове м'яке відсікання. Оригінальними діодами були 1N34, а MOSFET - IRF520.

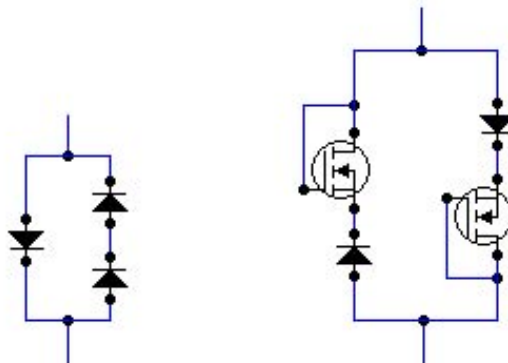


Рисунок 3.12 – Специфічні схеми відсікання

### 3.3 Модуляція педалі ефекту

#### 3.3.1 Принципова схема педалі ефекту «дісторшн»

Для прикладу далі буде змодульовано педаль ефекту «дісторшн». Вона буде працювати наступним чином. Звуковий сигнал у вигляді електричних хвиль проходить наступні етапи: етап підсилення, етап відсікання, а етап живлення забезпечує необхідну напругу для підсилення сигналу – рисунок 3.13.

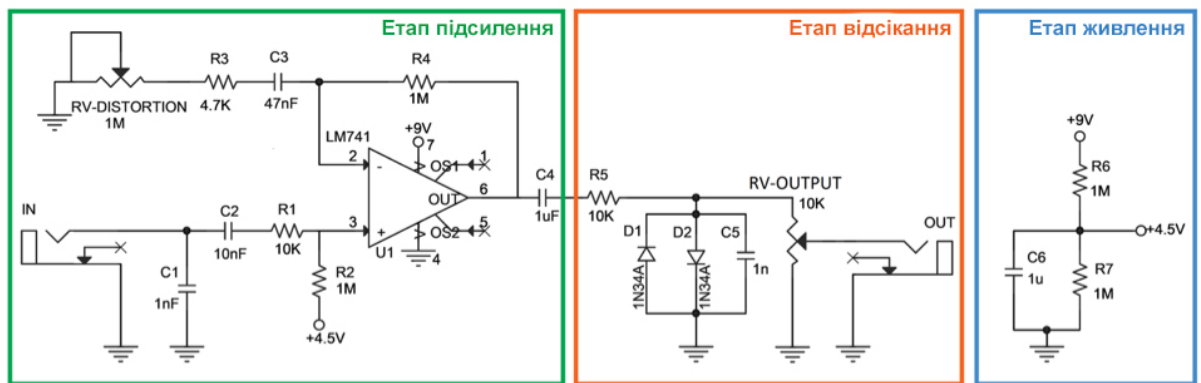


Рисунок 3.13 – Можлива електрична схема реалізації педалі ефекту «дісторшн»

#### 3.3.2 Етап живлення

Етап живлення забезпечує напругу та енергію ланцюга (рисунок 3.14).

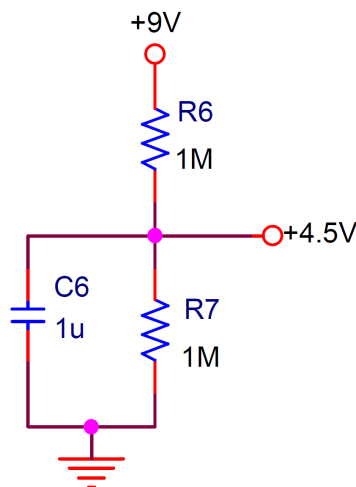


Рисунок 3.14 – Етап живлення педалі ефекту

Важливими на цьому етапі є високі значення резисторів, які використовуються для подільника опорів.  $1\text{M}\Omega$  є досить високим значенням (також в подібних педалях використовують для однієї і тієї ж операції  $100\text{K}\Omega$  або  $47\text{K}\Omega$ ):

- цей фактор зменшить енергоспоживання педалі;
- створене віртуальне заземлення (+ 4,5 В) матиме імпеданс  $1\text{M} // 1\text{M} = 500\text{K}\Omega$  до землі. Це допоможе збільшити вхідний опір схеми;
- з'єднання резисторів (+ 4,5 В) роз'єднується на землю за допомогою електролітичного конденсатора C6 ( $1\mu\text{F}$ ), який видаляє всю пульсацію від напруги живлення.

### 3.3.3 Етап операційного підсилювача

Основою схеми є цей неінвертуючий підсилювач, який забезпечує високий вхідний опір, посилення напруги та фільтрацію сигналу (рисунки 3.14 та 3.15).

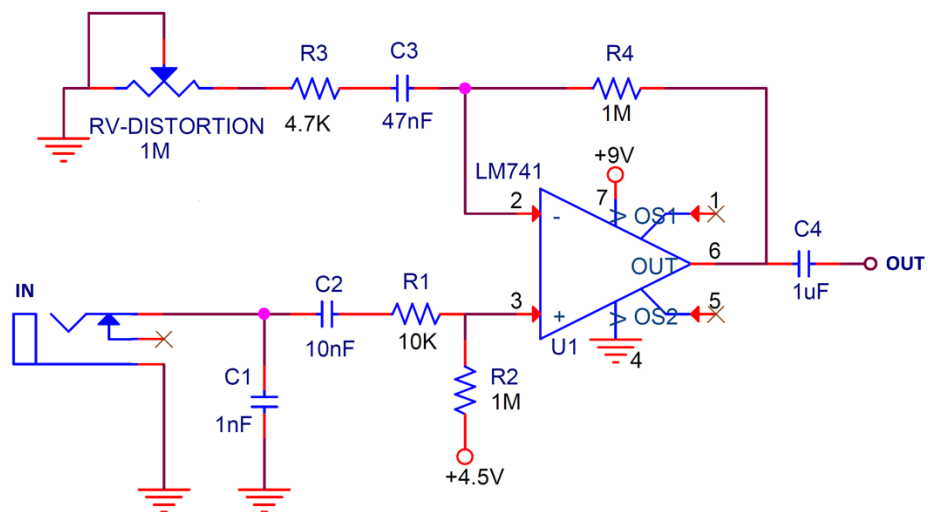


Рисунок 3.15 – Етап операційного підсилювача

- Сигнал з гітари надходить на конденсатори C1 і C2, які підключені в змішаному режимі. Конденсатор C1 є фільтром нижніх частот, скидаючи деякі

максимуми на землю, попередньо тим самим їх обрізаючи, дозволяючи уникнути радіочастотного шуму в ланцюг.

Конденсатор C2 відповідає за середні і низькі частоти в блоці формування перевантаження. Резистор R1 обмежує сигнал, що йде в ОУ (операційний підсилювач), резистор R2 встановлює зсув для ОП.

- Резистори R4, R3, конденсатор C3 працює з управлінням Гейн і частотами перевантаження, які подаються на неінвертуючий вхід ОП.

- В ОП два входи - позначаються плюс і мінус на схемі, подаючи сигнал на вхід плюс - на виході буде незмінений (але посилений) сигнал. Подавши його на вхід мінус на виході буде перевернутий (але теж посилений) сигнал.

- Якщо подавати сигнал на неінвертуючий вхід - на виході з'являється такий же, але посилений (тобто росте, коли збільшується на вході і т. п.). А якщо на інвертуючий - то зворотний до нього сигнал - зменшується, коли на вході росте, має протилежний знак. При використанні підсилювача з більш високим струмом зміщення або меншим входним опором, напруга на штифті 3 може бути нижчою, ніж очікувалося.

- Резистор RV-DISTORTION - регулятор посилення, однак він ще може міняти тональність, в залежності від своїх параметрів. Це відбувається через те, що він ще змінює АЧХ (Амплітудно-частотна характеристика - залежність амплітуди вихідного сигналу від частоти).

- Конденсатор C4 захищає підсилювач від постійного струму, що виходить з підсилювача.

### 3.3.4 Етап відсікання

Останній етап - етап відсікання, який містить два діоди спиною до спини (D1 і D2), підключені до землі (рисунк 3.16). Це дає так званий Hard clip дісторшну, що жорстко обрізає звуковий сигнал та створює сильне спотворення.

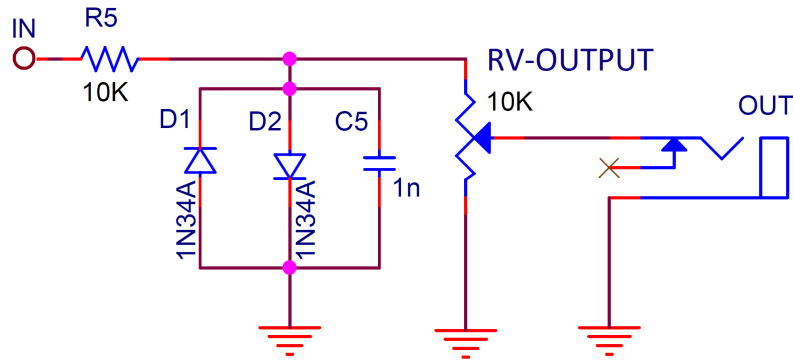


Рисунок 3.16 - Етап відсікання

- Резистор R5 необхідний для обмеження кількості струму в діодах,  $10\text{K}\Omega$  - це досить стандартне значення, інші педалі, як Boss DS-1, використовують  $2,2\text{K}\Omega$ , Pro-Co Rat використовує  $1\text{K}\Omega$ , а Kenta Kentaur -  $1\text{K}\Omega$ .

- Потенціометр RV-вихід  $10\text{K}$  контролюватиме вихід за допомогою потенціометра  $10\text{K}$ , який пускає вхідний сигнал на землю.

- Діоди D1 і D2, використовують метод hard clipping (жорстке відсікання), а конденсатор C5 в зв'язці з R5 працює ще і як фільтр низьких частот, фільтруючи все що до 6 дБ і частоти в  $15.9\text{kHz}$ , які не сприймаються людським вухом. Швидше за все тут ще можуть відрізуватися гармонійні обертони або шум, як його можна ще назвати. Набагато краще в даному випадку буде використовувати змінний резистор на  $100\text{K}$  з конденсатором  $.0022\mu\text{F}$  замість з конденсатора C5. Це буде працювати як контроль тону.

- Діоди D1 і D2 1n34 в стандартній версії були германієвими. Далі сигнал виходить через змінний резистор  $10\text{k}$ .

**Діоди** – найважливіша річ у створенні звучання ефекту дисторшн

1N270 (рисунок 3.17) - це германієві діоди, які використовуються в легендарній MXR Distortion +. Діоди є найважливішим фактором спотворення звукового сигналу. Всі вони звучать тонко по-різному.



Рисунок 3.17 – Германієві діоди



Обрані 1N34A германові діоди мають невелику напругу вперед ( $V_f = 0,3$  до  $0,45$  В) і поведінку м'якого насичення порівняно з сучасними діодами з кремнію ( $V_f = 0,7$  В). Цей низький  $V_f$  додасть додаткову компресію спотвореному сигналу – рисунок 3.18.

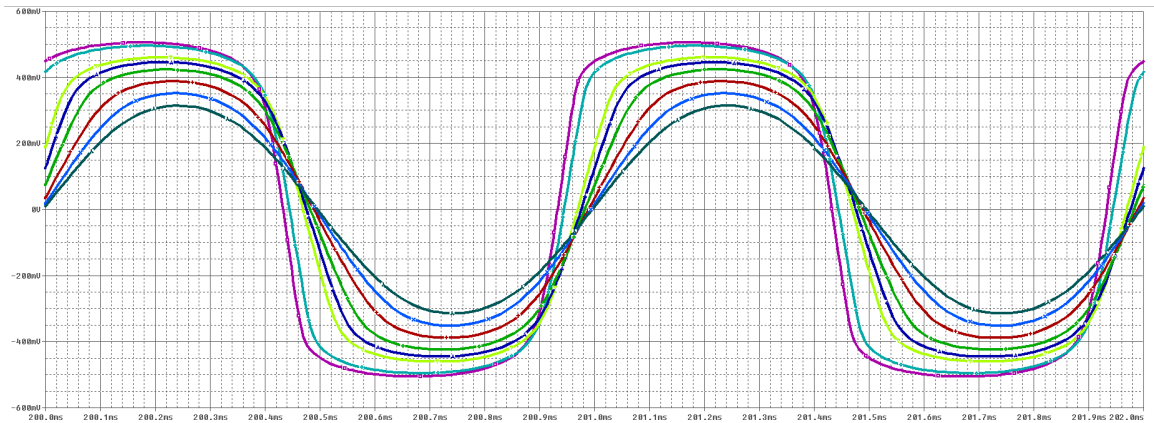


Рисунок 3.18 – Залежність вихідного з діоду сигналу від напруги

- Конденсатор  $1\text{nF}$  C5, який розміщено паралельно D1 і D2, використовується для фільтрації суворих високих гармонік. Резистор R5 і C5 утворюють фільтр низьких частот, що полегшить суворі відсікання, застосовані діодами. Цей тип використовується в багатьох інших подібних педалях, таких як Boss DS-1, Pro-Co RAT (рисунок 3.19).

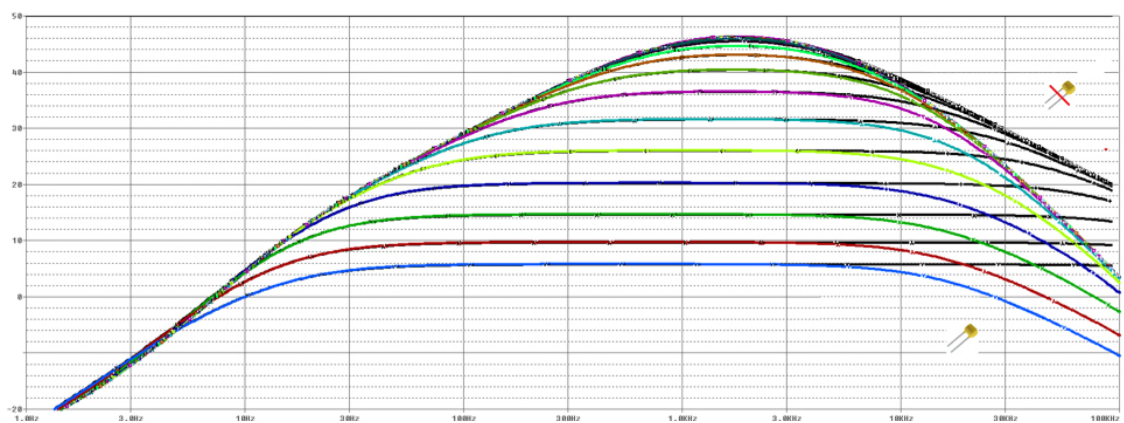


Рисунок 3.19 - Різниця між використанням  $1\text{nF}$  конденсатора паралельно діодам відсікання та його відсутністю

На графіку вище можна побачити різницю між використанням 1nF конденсатора паралельно діодам відсікання та його відсутністю. Частоти понад 15,9 кГц ослаблені, створюючи більш м'який тон з менш яскравими гармоніками.

### 3.4 Результат моделювання

Описану схему було змодельовано в NI Multisim, в якості вхідного сигналу взято джерело напруги 500 мВ з частотою 500 гц. Нижче наведено напруги на різних ділянках схеми (рисунок 3.20) та сигнал до (синусоїда) та після моделювання (рисунок 3.21).

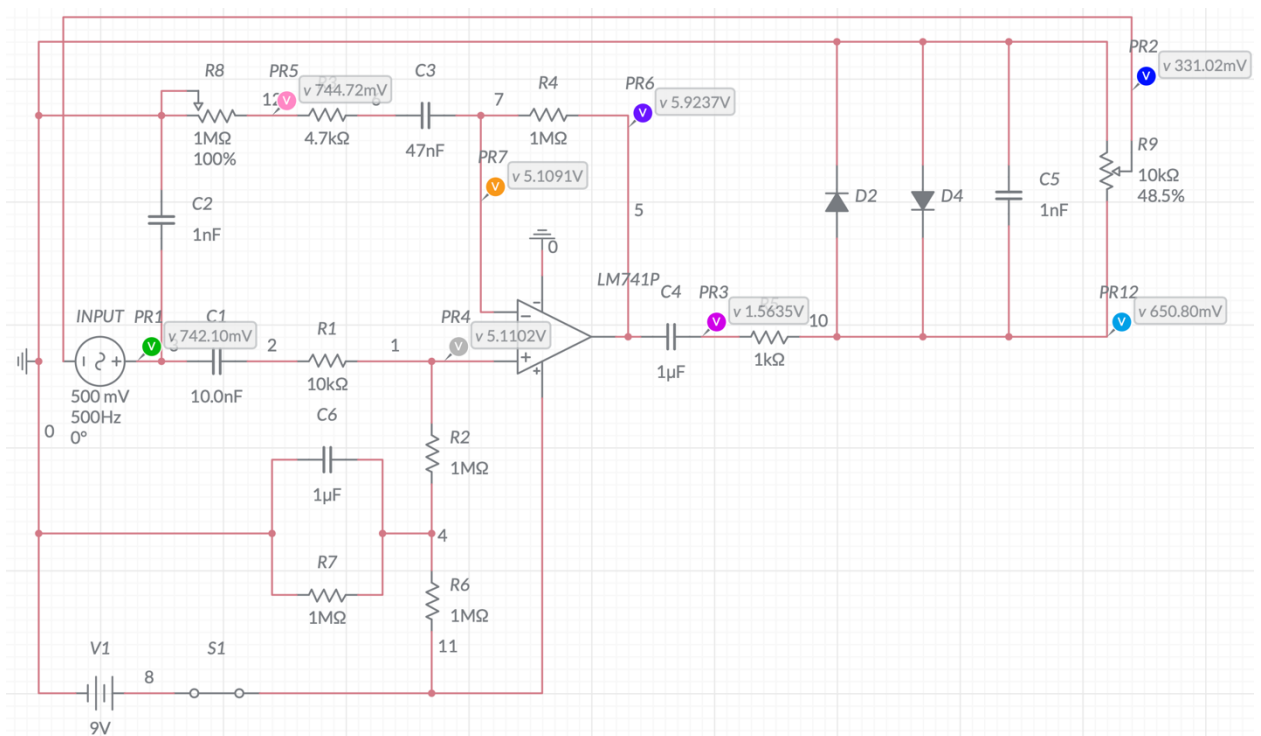


Рисунок 3.20 – Змодельована схема дісторшн в NI Multisim

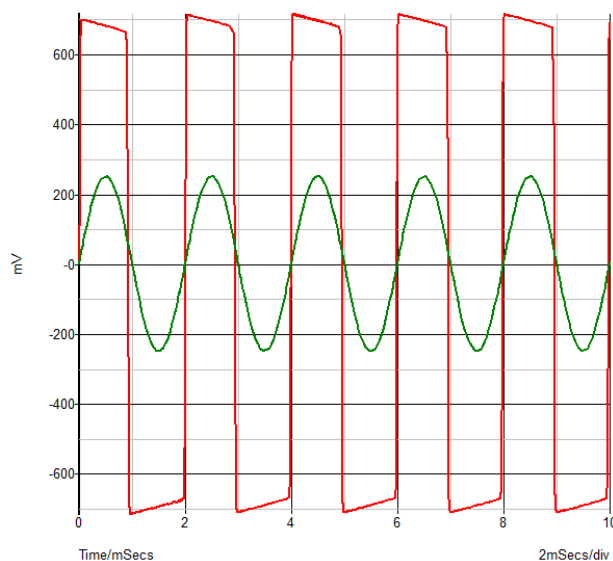


Рисунок 3.21 – Результат моделювання

На вході встановлено генератор синусоїдального сигналу 500mVpp при 500 Гц, коефіцієнт посилення та гучності встановлено на 100%.

### 3.5 Модифікації педалі ефектів

Ось деякі модифікації, які можна зробити зі створеною схемою.

1. Використання однополюсного перемикача, щоб задіяти конденсатор .01uf паралельно з конденсатором C2 .001uf. Це дасть можливість управляти компресією і тональністю. Для більш агресивного звуку можна замінити конденсатор C2 с .01uf на .047uf.
2. Додавання однополюсного перемикача навколо C3, щоб мати можливість додавати більше баса, треба додати ще конденсатор на .33uf паралельно з C3.
3. Заміна резистора R2 на 1K і конденсатор C3 на .22uf збільшить агресивність звуку.
4. Заміна R4 на змінний резистор в 1mOm призведе до кращого регулювання посилення.
5. Додавання однополюсного вимикача паралельно з діодами і резистором R4. Можна використовувати як діоди 1n34a і 1N4001, так і подібні.

6. Заміна діодів D1 і D2 на діоди 1n34a і 1N4001 або подібні в серії поліпшить динаміку.

7. Заміна C5 на .0022uf і з'єднання послідовно з перемінним резистором в 1mOm дасть можливість регулювати тембр.[8]

### **Висновки до розділу 3**

Тенденції розвитку спотворюючих пристроїв типу фуз, овердрайв, сустейн і дисторшн полягають в застосуванні активних фільтрів на операційних підсилювачах замість RC (резистор-конденсатор) ланцюжків, що мають більш круті схили своїх частотних характеристик і більше придушення небажаних високочастотних компонент (тобто, так званого "піску"). Також велику увагу розробники приділяють створенню більш досконалих пристроїв обмеження і нелінійного спотворення сигналу.

## 4. СТВОРЕННЯ ЗВУКОВИХ ЕФЕКТІВ ЦИФРОВИМ СПОСОБОМ

### 4.1 Музичні плагіни та їх формати

Під час роботи в сучасних DAW, використовуються аудіоефекти, обробки та віртуальні інструменти, які працюють в режимі реального часу. Вони являють собою окремі програми та плагіни, які призначені для використання в інших додатках, які називаються хостами. Плагіни підключаються до програми-хосту або пристрою та дають їм свої можливості. До хосту підключаються плагіни

Насьогодні використовують такі типи плагінів: VST, RTAS, DXi, AU, AAX, ReFill.

**VST (Virtual Studio Technology)** - найпопулярніший формат плагінів, що працює в Windows, macOS і Linux. Формат спочатку розроблявся спільними силами Steinberg і Propellerhead, але через деякий час Propellerhead покинула проект.

Формат спочатку створювався для перенесення аналогових аудіоефектів (компресорів, еквалайзерів, ревербераторів) в цифрову середу. Сьогодні під терміном «VST-плагін» розуміються будь-які віртуальні інструменти і ефекти.

VST-плагіни безпосередньо залежать від ресурсів комп'ютера - це нативні додатки, які підключаються до музичних програм. Модулі функціонують в режимі реального часу, виробляючи обробку звуку за рахунок ресурсів комп'ютера (в основному, процесора).

У 1999 році Steinberg представила оновлену версію технології VST2, яка ввела таке поняття як VSTi (англ. Virtual Studio Technology instrument - інструмент технології віртуальної студії). На відміну від VST, VSTi-плагіни є додаток, яке вміє генерувати звуковий сигнал. VSTi створений спеціально для перенесення реальних інструментів в цифрове оточення, а всі віртуальні бібліотеки, програмні синтезатори і семплери працюють на його основі.

AU (Audio Units). Формат Audio Units розроблений компанією Apple. Формат являє собою набір API або інструкцій, що дозволяють операційним системам macOS і iOS генерувати, обробляти, відтворювати і всіляко маніпулювати звуковим сигналом з мінімальним рівнем затримки.

Незважаючи на це, відмінностей між AU, VST і VSTi немає, якщо не брати до уваги той факт, що AU-плагіни можуть функціонувати як в ролі віртуальних ефектів, так і інструментів. Схожість з VST дозволяє конвертувати VST-плагіни в AU за допомогою сторонніх програм (див. FXpansion VST to AU Adapter V2 і Symbiosis).

RTAS (Real Time AudioSuite). RTAS був розроблений компанією Digidesign (нині - Avid Technology) спеціально для цифрової робочої станції Pro Tools і підтримувався аж до виходу Pro Tools 10. Відмінностей від VST і AU у форматі немає - RTAS також покладається на обчислювальні потужності процесора і володіє тими ж функціями, що родинні формати.

AAX (Avid Audio eXtensions). Разом з виходом Pro Tools 11 в 2013 році, компанія Avid відмовилася від подальшої підтримки RTAS і представила новий формат AAX. Рішення про випуск нового формату плагінів було прийнято через закритість VST і AU для сторонніх розробників - вносити зміни в принципи роботи цих двох форматів можуть тільки Steinberg і Apple. Приклади плагінів наведені на рисунках 4.1 та 4.2. Таблиця сумісності форматів плагінів наведена в додатку Б.

Також деякі програми використовують інтерфейс ReWire, розроблений компанією Propellerheads разом з програмою Reason. [11, с 11-196]



Рисунок 4.1 – Плагін iZotope Ozone для пост-обробки музичного контенту



Рисунок 4.2 – Плагін Native Instruments Kontakt 5 для синтезу звуків

ReWire - це не плагін, а віртуальний міжпрограмний інтерфейс, який замість плагінів дозволяє включити одну програму в іншу. Він реалізований на технології ActiveX, тому може використовуватись тільки в Windows з DirectX.

## 4.2 Поняття про принцип створення плагінів

Для створення плагінів використовують Mac з Xcode 4 або вище, або Windows з Visual Studio C++ 2010 або вище.

Для створення плагінів часто використовують C++ і бібліотеку WDL-OL. Вона заснована на бібліотеці Coskos WDL (вимовляється як «Уїдлі»). Вона робить купу роботи, ось найважливіші моменти:

- Містить вже готові проекти Xcode / Visual Studio;
- Створює плагіни в форматах VST, AudioUnit, VST3 і RTAS з коду;
- Запускає плагін як самостійний додаток в Windows або MacOS;
- Містить безліч різних елементів GUI, які використовуються в аудіоплагінах.

Також в цій бібліотеці є деякі часто використовувані алгоритми, наприклад, передискретизація.

Різні формати плагінів роблять більш-менш одне й те саме. В кодї зазвичай буває багато скопійованого.

Задачі зі створення плагіну:

- Обробка аудіо та MIDI;
- Зовнішній вигляд плагіна;
- Інтеграція з хостом (автоматизація, пресети та інше).

**Juce** - бібліотека кодів, написана на C++, яка може бути використана для розробки аудіоплагінів з нуля.

Писати код обробки звуку може бути досить непросто, але знаючи основи, програма дозволяє отримати повний контроль над тим, що роблять плагіни, і дає можливість їх нескінченно налаштовувати.

ProJucer автоматично генерує різні вихідні файли залежно від того, що потрібно розробити та автоматично створює файли проектів для обраного типу аудіоплагіна.



## 4.3 Створення плагіна ефекту «дісторшн»

### 4.3.1 Підготовчий етап

Для прикладу буде створено плагін ефекту дісторшн з досить простою реалізацією спотворень. Буде використано програмне забезпечення Juce та середовище розробки Xcode для Mac OS X.

В Juce необхідно обрати створення Audio Plugin – рисунок 4.3.

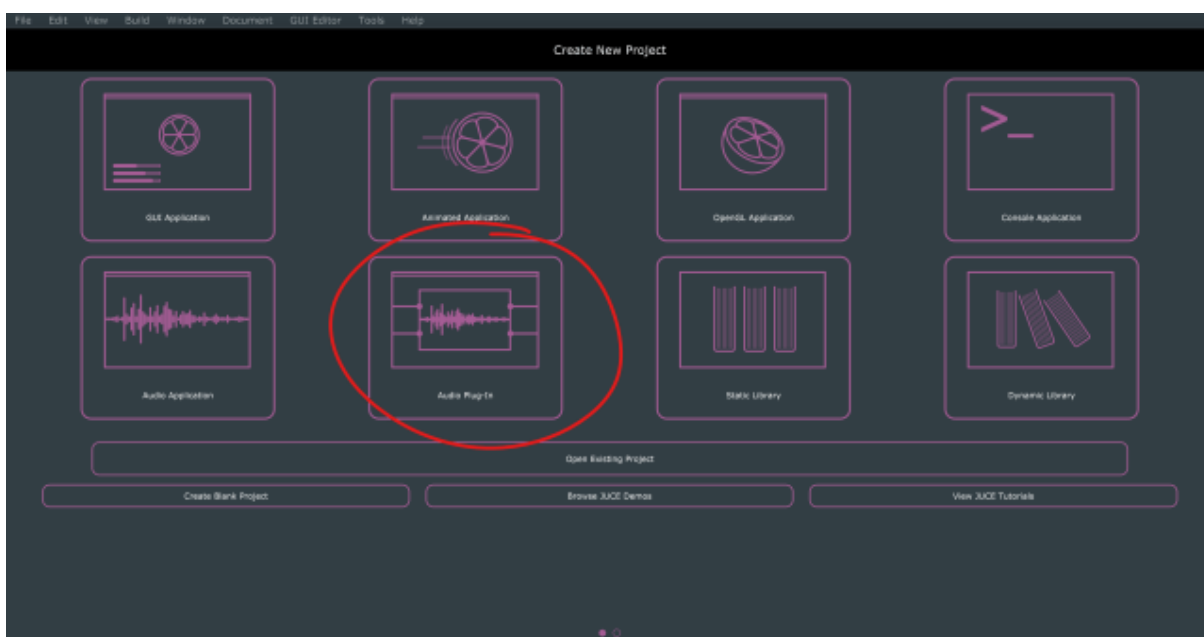


Рисунок 4.3 – Скріншот процесу розробки плагіна в Juce

На цьому екрані потрібно обрати назву проекту, місцезнаходження та IDE, яке вже встановлено – рисунок 4.4.

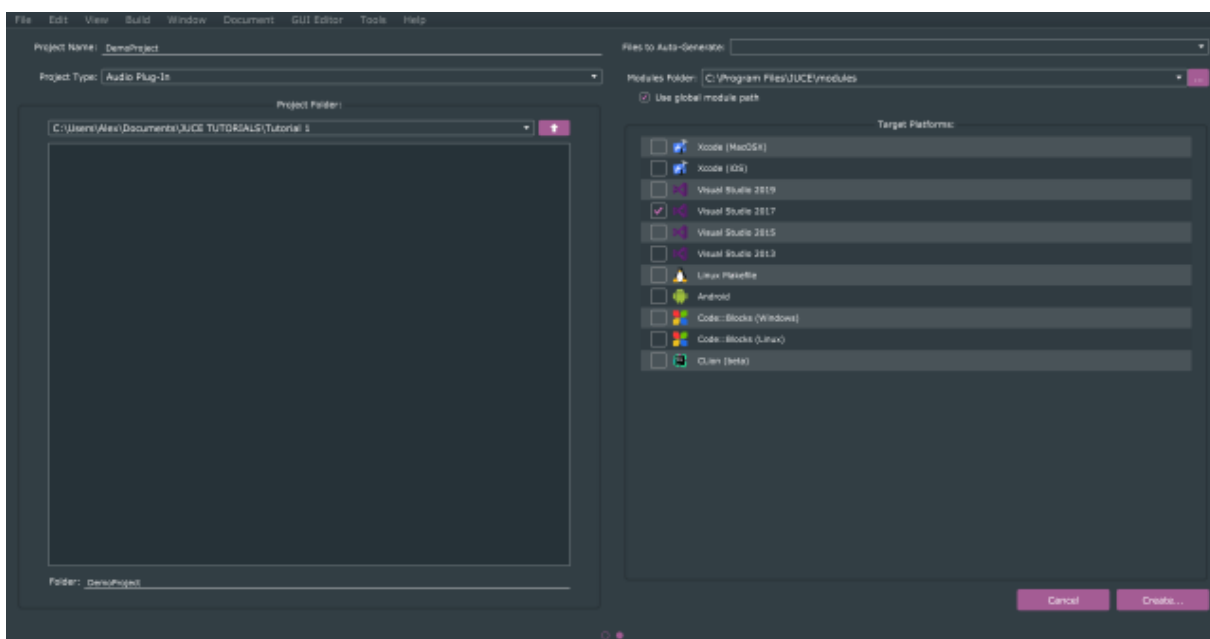


Рисунок 4.4 – Скріншот процесу розробки плагіна в Juce

На цьому екрані відображаються файли, автоматично створені JUCE. В налаштуваннях можна обрати формат плагіна (у данному прикладі – VST3). JUCE дозволяє дуже легко змінити формат плагіна. Тепер необхідно у кнопці IDE обрати програмне середовище розробки – рисунок 4.5.

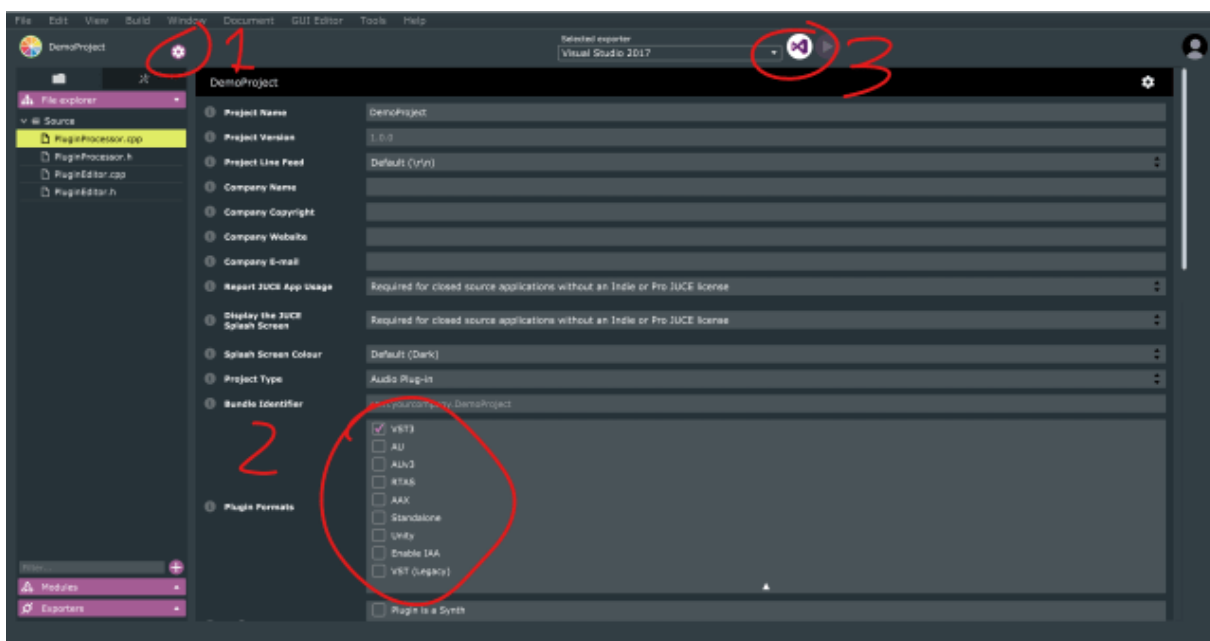


Рисунок 4.5 – Скріншот процесу розробки плагіна в Juce

Структуру проекту плагіна в Juce видно на рисунку 4.6.

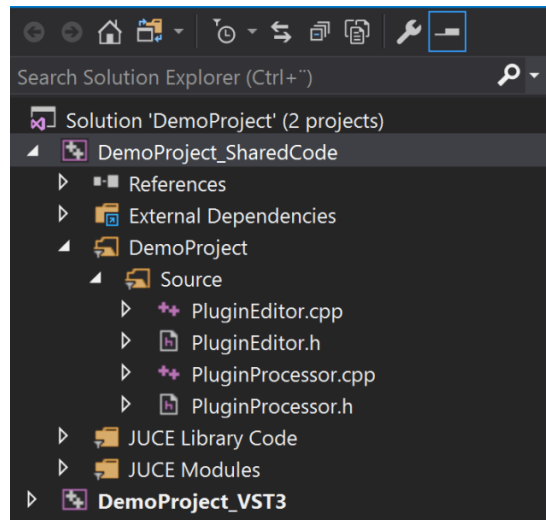


Рисунок 4.6 – Структура плагіна в Juce

У вихідній папці є 4 файли:

- **PluginEditor.cpp;**
- **PluginEditor.h;**
- **PluginProcessor.cpp;**
- **PluginProcessor.h .**

Ці файли містять купу згенерованого автоматично коду. Для початку потрібно зосередитись на файлі **PluginProcessor.cpp**. Тут буде кодуватись основна частина плагіна.

Використовуючи файли **PluginEditor.h** та **.cpp**, створені Projucer, отримуємо більше варіантів при розробці інтерфейсу плагіна, ніж при використанні загальних елементів інтерфейсу.

### 4.3.2 Створення нового проекту аудіо плагінів JUCE

Спочатку необхідно зробити кілька кроків по налаштуванню інтерфейсу користувача за допомогою файлів PluginEditor, але це дозволить легко змінити дизайн елементів інтерфейсу.

Необхідно завантажити файл **PluginEditor.h** і додати наступний рядок у приватний розділ, потім додати наступні рядки до файлу **PluginEditor.cpp**, щоб зробити його видимим у вікні плагіна – рисунок 4.7.

ComboBox disChoice

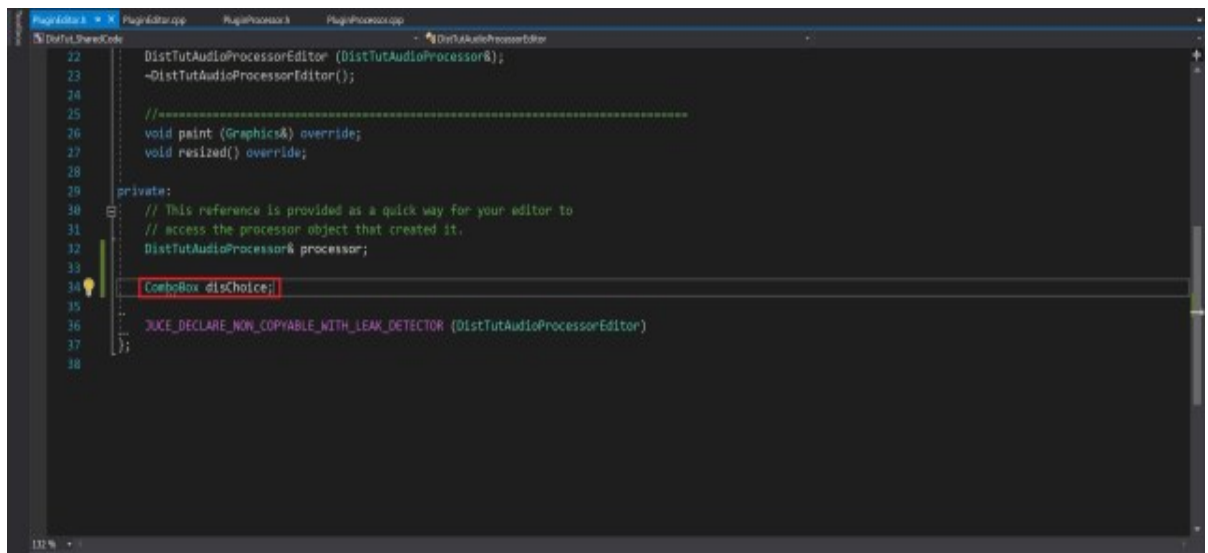


Рисунок 4.7 – Скріншот процесу розробки плагіна в Juce

```

addAndMakeVisible(&disChoice); // 1
disChoice.addItem("Hard Clip", 1);
disChoice.addItem("Soft Clip", 2);
disChoice.addItem("Half-Wave Rect", 3);
disChoice.setSelectedId(1);

```

```

disChoice.setBounds(50, 50, 200, 50); //2

```

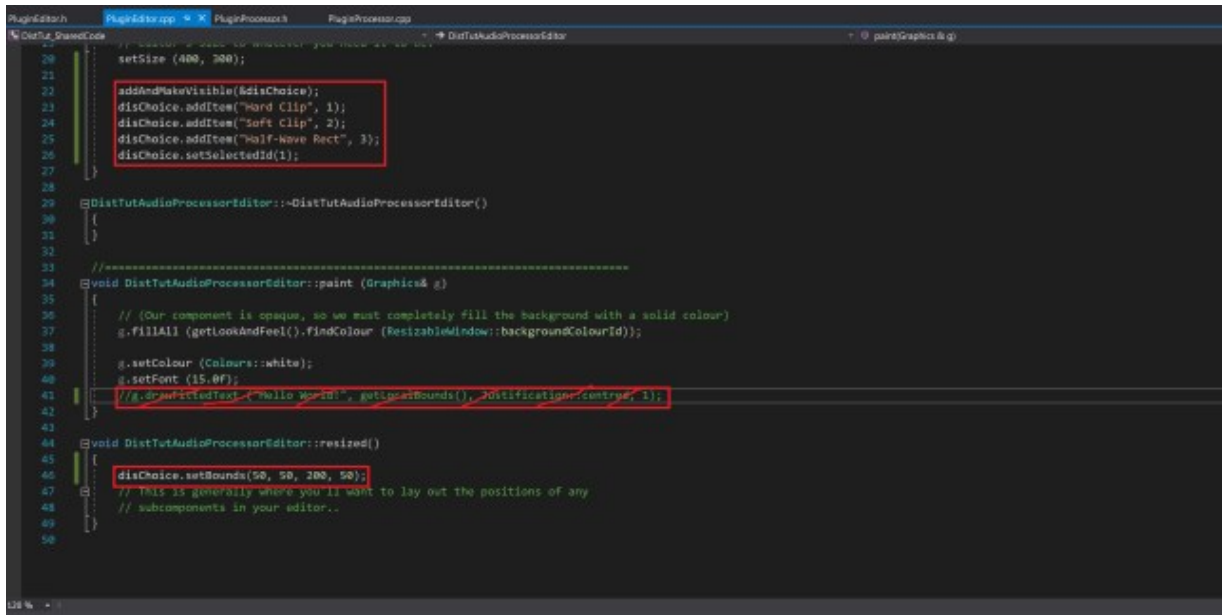


Рисунок 4.8 – Скріншот процесу розробки плагіна в Juce

Цей ComboBox буде використовуватися для зміни типу алгоритму спотворень у плагіні. ComboBox має три параметра. Щоб це поле змінило щось, потрібно додати слухача. Слухач викличе фрагмент коду будь-коли, коли цей ComboBox буде змінено – рисунок 4.9.

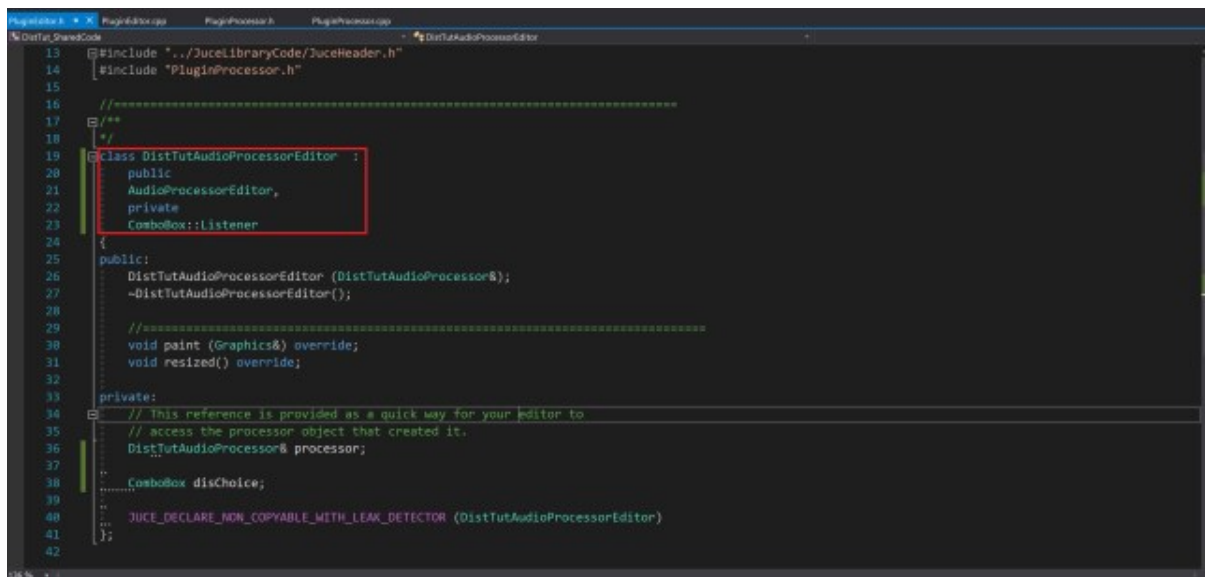
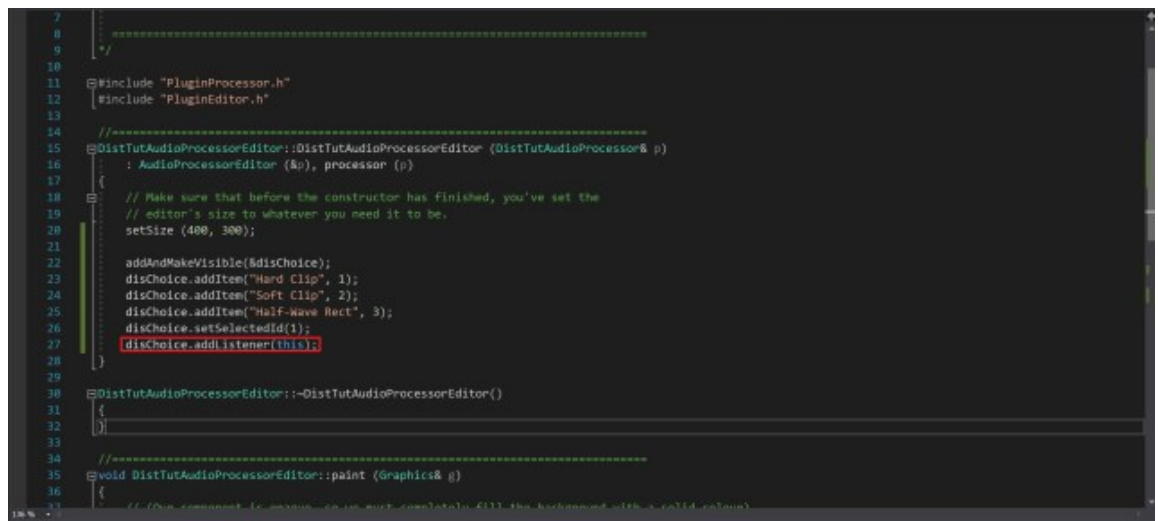


Рисунок 4.9 – Скріншот процесу розробки плагіна в Juce

У файл **PluginEditor.h** необхідно додати `ComboBox::Listener` у розділ приватних декларацій – рисунок 4.10.



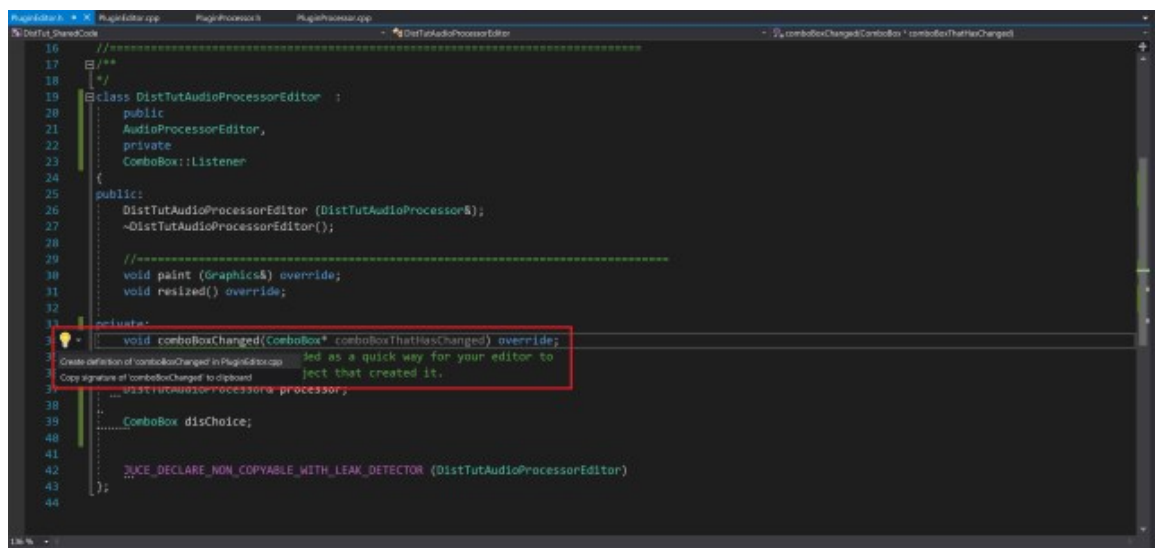
```

7  // *****
8  // *****
9  // *****
10 // *****
11 #include "PluginProcessor.h"
12 #include "PluginEditor.h"
13 // *****
14 // *****
15 DistTutAudioProcessorEditor::DistTutAudioProcessorEditor (DistTutAudioProcessor& p)
16 : AudioProcessorEditor (&p), processor (p)
17 {
18 // Make sure that before the constructor has finished, you've set the
19 // editor's size to whatever you need it to be.
20 setSize (400, 300);
21
22 addAndMakeVisible (&disChoice);
23 disChoice.addItem ("Hard Clip", 1);
24 disChoice.addItem ("Soft Clip", 2);
25 disChoice.addItem ("Half-Wave Rect", 3);
26 disChoice.setSelectedId (1);
27 disChoice.addListener (this);
28 }
29
30 DistTutAudioProcessorEditor::~DistTutAudioProcessorEditor()
31 {
32 }
33
34 // *****
35 void DistTutAudioProcessorEditor::paint (Graphics& g)
36 {
37 // (Our component is opaque, so in most circumstances filling the background with a solid colour)

```

Рисунок 4.10 – Скріншот процесу розробки плагіна в Јусе

Потім у **PluginEditor.cpp** потрібно додати цей рядок, щоб додати слухача до `DisChoice` `ComboBox` – рисунок 4.11.



```

16 // *****
17 // *****
18 // *****
19 class DistTutAudioProcessorEditor :
20 public
21 AudioProcessorEditor,
22 private
23 ComboBox::Listener
24 {
25 public:
26 DistTutAudioProcessorEditor (DistTutAudioProcessor&);
27 ~DistTutAudioProcessorEditor();
28
29 // *****
30 void paint (Graphics&) override;
31 void resized() override;
32
33 private:
34 void comboBoxChanged(ComboBox* comboBoxThatHasChanged) override;
35
36 // *****
37 ...
38 ComboBox disChoice;
39
40 // *****
41 JUCE_DECLARE_NON_COPYABLE_WITH_LEAK_DETECTOR (DistTutAudioProcessorEditor)
42
43 };
44

```

Рисунок 4.11 – Скріншот процесу розробки плагіна в Јусе

Ще в **PluginEditor.h** треба додати цей рядок (рисунок 4.12):

```
void comboBoxChanged(ComboBox* comboBoxThatHasChanged) override;
```

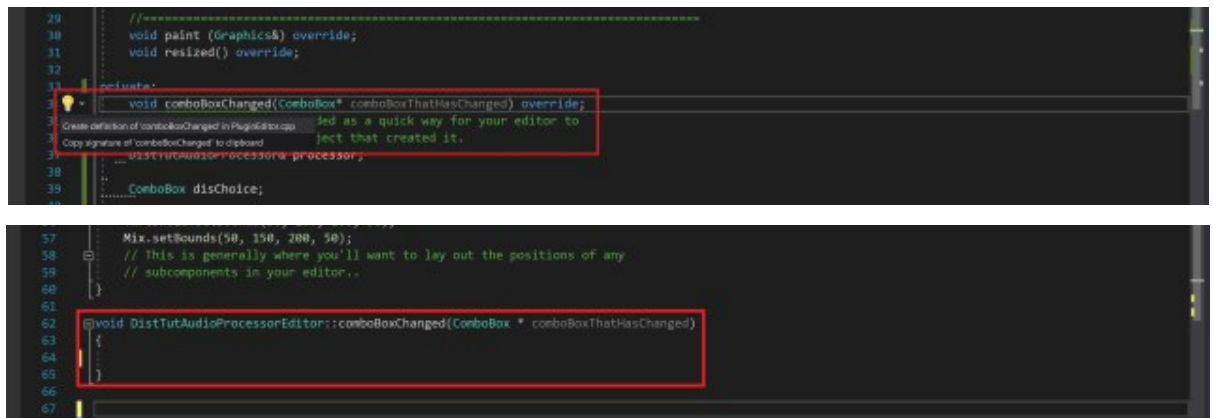


Рисунок 4.12 – Скріншот процесу розробки плагіна в Juce

Далі треба дозволити IDE створити визначення у **PluginEditor.cpp** або треба додати його самостійно.

Ця функція викликається в будь-який час, коли ComboBox змінюється.

Тепер у **PluginProcessor.h** треба оголосити змінну під назвою **menuChoice** – рисунок 4.13.

```
int menuChoice;
```

Використовуючи **ComboBoxChanged**, ця змінна буде змінюватись залежно від об'єктів інтерфейсу, які додано до плагіна.

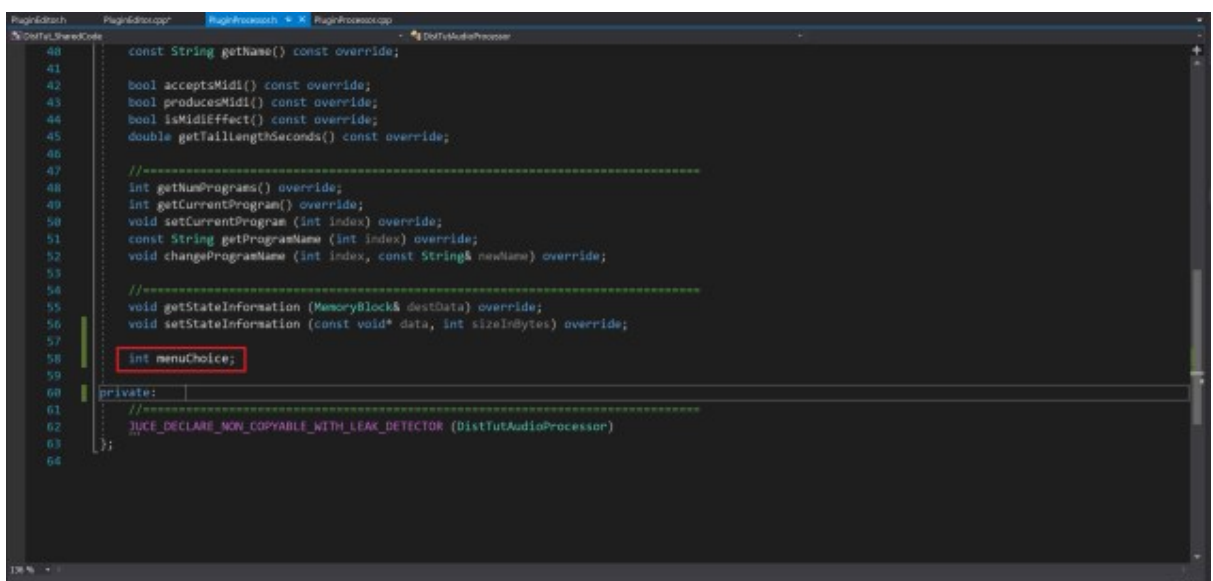


Рисунок 4.13 – Скріншот процесу розробки плагіна в Juce

У **PluginEditor.cpp** треба додати цей рядок до **ComboBoxChanged** – рисунок 4.14.

```
processor.menuChoice = comboBoxThatWasChanged-&gtgetSelectedId();
```

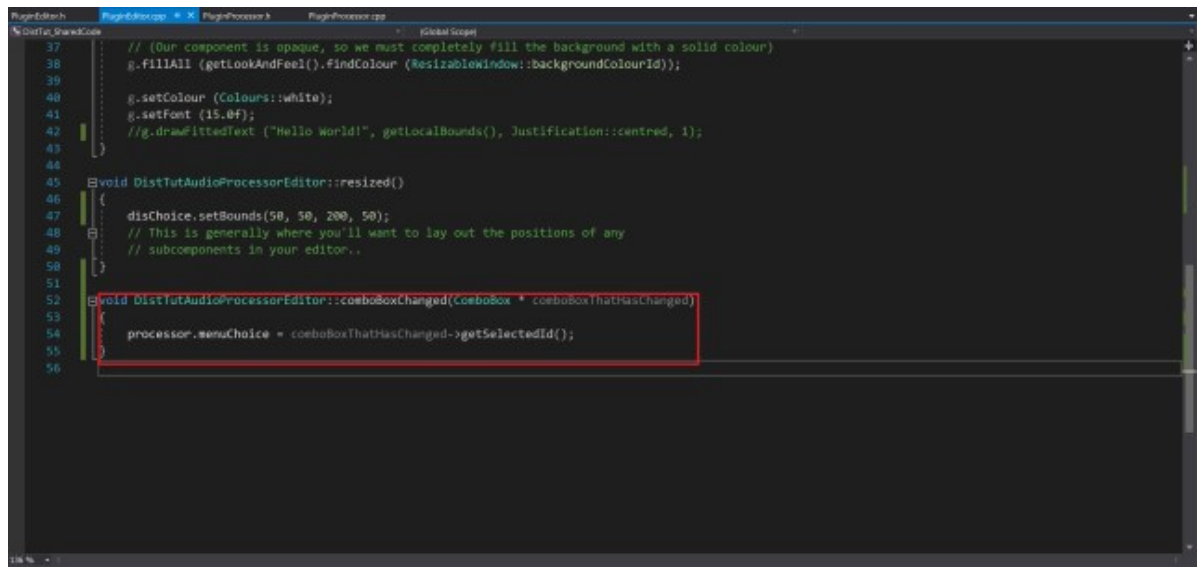


Рисунок 4.14 – Скріншот процесу розробки плагіна в Juce

Цей код встановлює змінну, яку створено в **PluginProcessor.h**, на значення, вибране користувачем в інтерфейсі.

Далі буде додано два повзунки до інтерфейсу плагінів. Єдина велика різниця при додаванні повзунків полягає в тому, що потрібно перевірити, який слайдер переміщується у функції **SliderValueChanged ()**.

### **PluginEditor.h:**

```

class DistortionAudioProcessorEditor :
public
AudioProcessorEditor,
private
ComboBox::Listener,
Slider::Listener

```



```
private:
void comboBoxChanged(ComboBox* comboBoxThatHasChanged) override;
void sliderValueChanged(Slider* sliderThatHasChanged) override;

// Це посилання є швидким способом
// отримати доступ до об'єкта процесора, який його створив.

DistortionAudioProcessor& processor;
ComboBox disChoice;
Slider Threshold;
Slider Mix;
```

### **PluginEditor.cpp:**

```
{
// До закінчення роботи конструктора необхідно
// встановити розмір вікна плагіна.
setSize (400, 300);

addAndMakeVisible(&disChoice);
disChoice.addItem("Hard Clip", 1);
disChoice.addItem("Soft Clip", 2);
disChoice.addItem("Half-Wave Rect", 3);
disChoice.setSelectedId(1);
disChoice.addListener(this);

addAndMakeVisible(&Threshold);
Threshold.setRange(0.0f, 1.0f, 0.001);
Threshold.addListener(this);

addAndMakeVisible(&Mix);
Mix.setRange(0.0f, 1.0f, 0.001);
Mix.addListener(this);
}
```

```
void DistortionAudioProcessorEditor::resized()
{

// Тут необхідно встановити положення елементів плагіну.

disChoice.setBounds(50, 50, 200, 50);
Threshold.setBounds(50, 100, 200, 50);
Mix.setBounds(50, 150, 200, 50);
}
```

### PluginProcessor.h:

```
int menuChoice;
float thresh = 0.0f;
float mix = 0.0f;
```

Після додавання двох елементів слайдера до інтерфейсу користувача треба додати цей код до функції `sliderValueChanged` – рисунок 4.15. Цей код перевіряє, який слайдер був змінений, а потім присвоює значення змінним у файлах процесора.

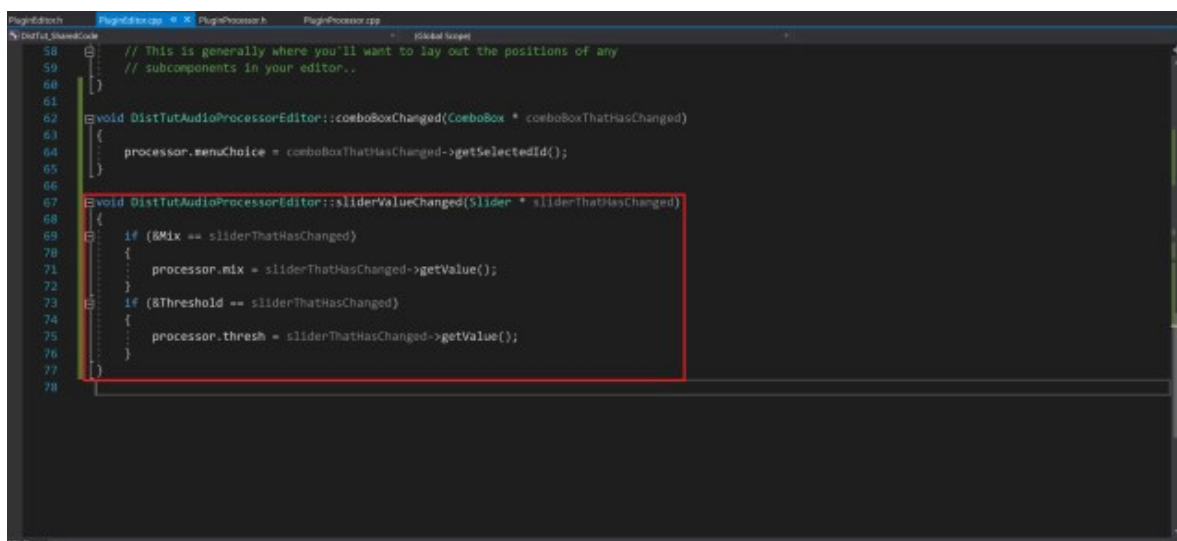


Рисунок 4.15 – Скріншот процесу розробки плагіна в Juce

```

void DistortionAudioProcessorEditor::sliderValueChanged(Slider
*slider)
{
    if (&Mix == slider)
    {
        processor.mix = Mix.getValue();
    }
    if (&Threshold == slider)
    {
        processor.thresh = Threshold.getValue();
    }
}

```

### 4.3.3 Кодування блоку процесів

Після побудови плагіна з'явиться ComboBox. Тепер треба побудувати алгоритми роботи дїсторшну цього плагіна.

Значення сигналу, що перевищують певний поріг, будуть обмежуватись так, щоб вони не виходили за нього – рисунок 4.16:

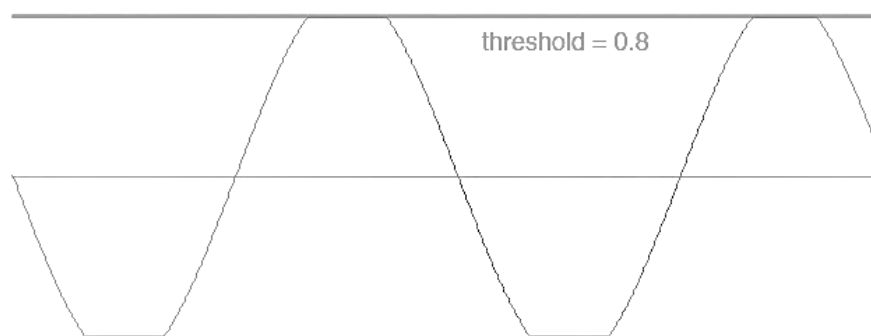


Рисунок 4.16 – Обмеження сигналу при використанні ефекту дїсторшн

Під словом «перевищують» мається на увазі «перевищують певний позитивний поріг або опускаються нижче певного негативного порога».

Зміна коду ProcessBlock додасть більше параметрів або змінить спосіб модифікації сигналу. Можна змінити тип спотворень, порогові значення та значення міксу.

Відсікання може бути охарактеризовано як Hard, у випадках, коли сигнал суворо обмежений на порозі, створюючи плоский обріз; або він може бути описаний як Soft у випадках, коли відсічений сигнал продовжує слідувати вихідному сигналу зі зменшеним посиленням.

Жорстке відсікання породжує високі рівні одинадцятої, п'ятнадцятої та дев'ятнадцятої гармонік, що може звучати суворо. М'яке відсікання призводить до меншої кількості гармонік вищого порядку та спотворень інтермодуляції.

М'яке відсікання часто має плавний звук, який генерує гармоніки другого чи третього порядку, залежно від того, чи є відсікання симетричним чи асиметричним.

Rectification - це тип спотворення, коли значення негативної амплітуди сигналу спотворюються різними способами. Для напівхвильового випрямлення всі негативні значення амплітуди змінюються на нуль.

Лампи часто асоціюються з м'яким відсіканням, а транзистори з більш жорстким, хоча це, безумовно, не завжди. [10]

Про типи відсікання та їх аналогові схеми є в додатку Г.

### **PluginProcessor.cpp -> ProcessBlock()**

```
{
for (int channel = 0; channel < buffer.getNumChannels(); ++channel)
{
auto* channelData = buffer.getWritePointer(channel);

for (int i = 0; i < buffer.getNumSamples(); ++i) {

auto input = channelData[i];
auto cleanOut = channelData[i];

if (menuChoice == 1)
```

**//Hard Clipping**

```
{
if (input > thresh)
{
input = thresh;
}
else if (input < -thresh)
{
input = -thresh;
}
else
{
input = input;
}
}
if (menuChoice == 2)
```

**//Soft Clipping Exp**

```
{
if (input > thresh)
{
input = 1.0f - expf(-input);
}
else
{
input = -1.0f + expf(input);
}
}
if (menuChoice == 3)
```

**//Half-Wave Rectifier**

```
{
if (input > thresh)
{
input = input;
```

```

}
else
{
input = 0;
}
}
channelData[i] = ((1 - mix) * cleanOut) + (mix * input);
}
}
}

```

Це дуже прості алгоритми спотворення, але можуть створити цікаві результати. Код можна легко ускладнити нелінійними ефектами, такими як алгоритми насичення (saturation - ефект насичення сигналу непарними гармоніками) або збудження (exciter - додавання невеликих гармонійних спотворень).[13]

#### 4.4 Результати роботи

Для перевірки результату було використано DAW Reaper. З рисунку 4.17 видно, що плагін відображається у вікні плагінів.

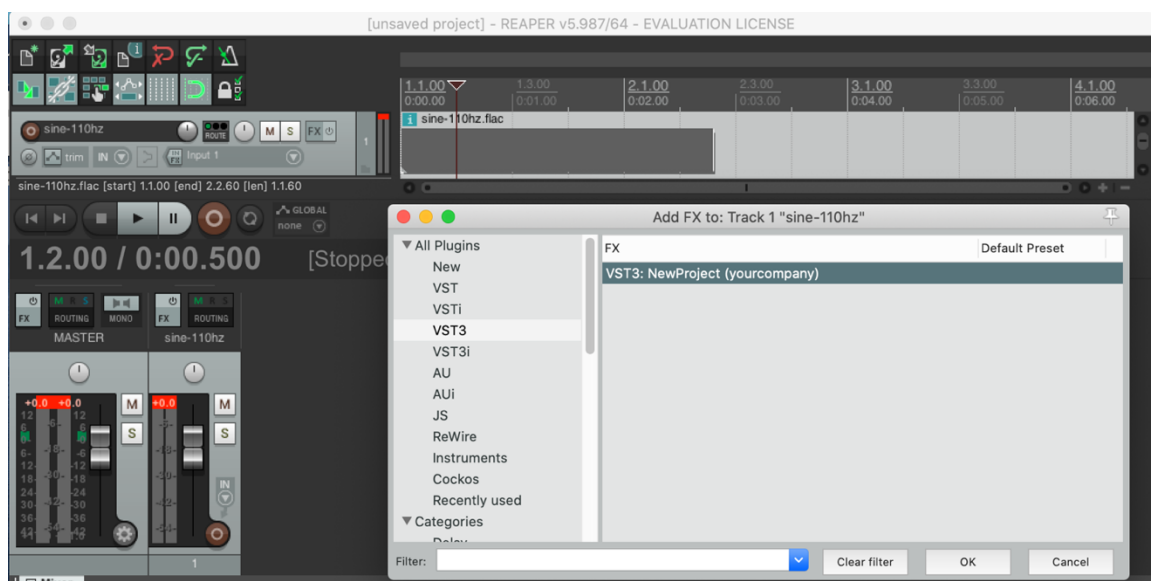


Рисунок 4.17 – Скріншот Reaper, вікно плагінів

Створений плагін можна побачити на рисунку 4.18.

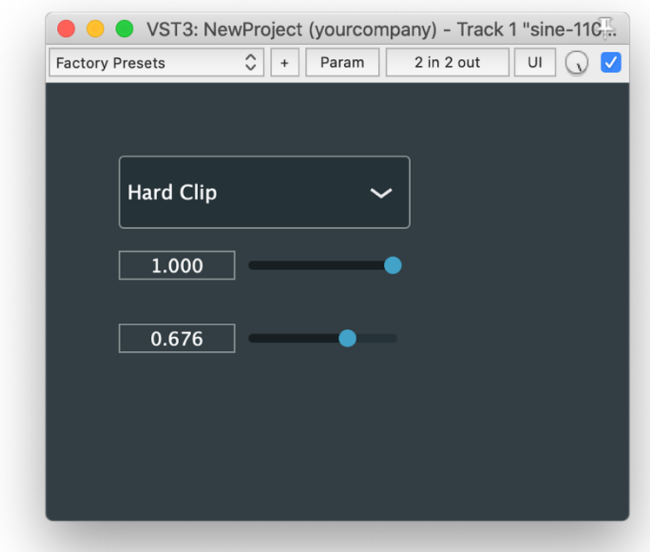


Рисунок 4.18 – Створений плагін

Для тесту було взято синусоїдальний сигнал частотою 110 Гц та пропущено його через створений плагін в різних режимах роботи та з різними значеннями параметрів. Результати тесту відображені на рисунку 4.19, де зверху зображено початковий сигнал, а нижче на нього були накладені можливі типи фільтрів.

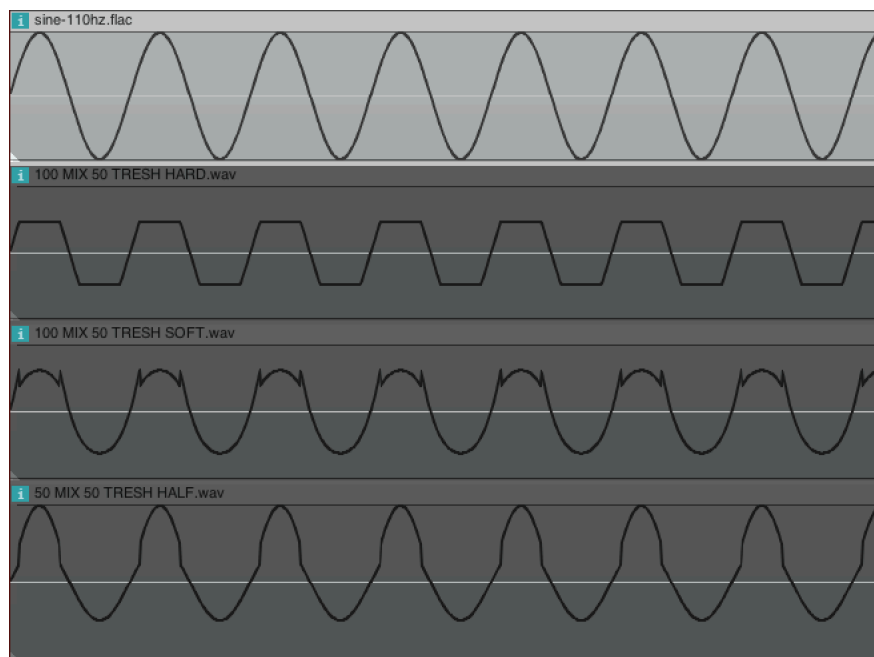


Рисунок 4.19 – Результати роботи плагіна

## **Висновки до розділу 4**

Аудіо плагіни - це програми, які завантажуються у головне програмне забезпечення (наприклад, Ableton Live, Logic або REAPER). Вони обробляють дані аудіо або MIDI і можуть мати графічний інтерфейс користувача.

З мінімальною кількістю теоретичних прийомів було створено працюючий дісторшн з кастомними інтерфейсом. Було використано програмне забезпечення Juice та середовище розробки Xcode для Mac OS X.

Це дало загальне уявлення про те, що включає в себе розробка плагіна.



## 5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

### 5.1 Можливості запуску проекту

Розроблення стартап-проекту засновано на створенні плагіна процесора звукових ефектів та обробок.

Проаналізовано та подано у вигляді таблиць:

- зміст ідеї;
- можливі напрямки застосування;
- основні вигоди, що може отримати користувач товару (за кожним напрямком застосування);
- чим відрізняють від існуючих аналогів та замінників.

Таблиця 5.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Виробництво плагіна процесора звукових ефектів та обробок	1. Музика	Компактні розміри обладнання, швидке налаштування.
	2. Кіно та відеоігри	Широкі можливості оперування звуком
	3. Звукові шоу	Зручне керування та автоматизація процесу

Таблиця 5.2 – Визначення характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Запропонований плагін	iZotope Trash	Blue Cat's Late Replies			
1.	Широкий вибір ефектів та обробок	+	-	+/-			+

## Продовження таблиці 5.2– Визначення характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко- економічні характеристики ідеї	Товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтр. сторона)	S (сильна сторона)
		Запропонований плагін	iZotope Trash	Blue Cat's Late Replies			
2.	Апаратний контролер	+	-	-			+
3.	Формат плагінів (сумісність з поширеними DAW)	Standalone/VST/AU/AAX/RTAS/DXi	Standalone/VST/AU	VST/AU/AAX			+
4.	Бездротове керування	+	-	-			+
5.	Вартість	150\$	100\$	150\$		+	

**5.2 Технологічний аудит ідеї проекту.**

У таблиці 5.3 показано оцінку технологічної здійсненності ідеї проекту та наведено технології, що можуть бути використані для реалізації проекту.

Таблиця 5.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Плагін процесора ефектів	Написання програмного коду	Необхідно розробити	Доступна
2	Апаратний контролер	Застосування апаратних систем	Необхідно розробити	При обмеженому бюджеті недоступна
3	Онлайн сервіс	Написання сайту з магазином додатків	Необхідно розробити	Доступна

### 5.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

У таблиці 5.4 показано попередню характеристику потенційного ринку стартап-проекту.

Таблиця 5.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	6
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	500000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Зацікавлення потенційних клієнтів
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	$500000/210000 = 238\%$

У таблиці 5.5 показано характеристику потенційних клієнтів стартап-проекту.

Таблиця 5.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Широкий вибір можливостей плагіну та якість обробки	Музиканти, медійні компанії	Рівень очікування можливостей	Широкі можливості та їх відповідність стандартам якості

## Продовження таблиці 5.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
2	Зручне керування плагіном	Музиканти, медійні компанії	Кожна з потенційних цільових груп має свої вимоги до можливостей керування	Забезпечення можливостей керування в залежності від рівня потреб споживача

У табл. 5.6 показані фактори загроз реалізації стартап-проекту.

Таблиця 5.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Незацікавленість клієнтів	Внаслідок невдалого маркетингу клієнт може не зацікавитись послугами	Внесення додаткових сервісних послуг, демонстрація можливостей
2	Втрата конкуренції	Втрата рангу надійного поставника	Якісне та кількісне нарощування інтенсивності та грамотна цінова політика

У таблиці 5.7 показано фактори можливостей при реалізації стартап-проекту.

Таблиця 5.7. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Перехід до домінування на ринку медійних послуг	Зростання попиту	Якісне та кількісне нарощування потужностей
2	Імплементация технологій в існуючі системи захоплення руху	Зростання попиту внаслідок зростання клієнтів	Якісне та кількісне нарощування потужностей

У таблиці 5.8 визначено особливості конкурентного середовища та його вплив на впровадження проекту.

Таблиця 5.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Чиста конкуренція	Використання схожих технологій	Стандартизація на високому рівні
2. Локальна	Відсутність єдиного національного постачальника послуг	Окремий підхід до кожної локальної ділянки
3. Міжгалузева	Аналогові пристрої обробки	Можливість наближення характеру цифрової обробки до аналогового
4. Товарно-видова	Застосування стандартизованих технологій	За необхідності, використання загальноновживаних апаратних та програмних засобів

## Продовження таблиці 5.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
5.Цінова	Застосування спеціалізованих комплексів, які мають значну ціну	Можливість заощадити за допомогою застосування загальноживаних засобів
6.Марочна	Кожна діагностика має бути стандартизованою	Отримання переваги на ринку медійних послуг

У таблиці 5.9 показано аналіз конкуренції проекту в галузі за М.Портером.

Таблиця 5.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Постачальники цифрових технологій обробки звуку	Постачальники аналогових технологій обробки звуку	Залучення маловідомих виробників апаратної частини	Незалежність у прийнятті клієнтських рішень	Надання переваги більш авторитетним рішенням
Висновки	Середня	Можливість виходу на ринок є	Постачальники диктують цінову політику на обладнання (контроллери)	Клієнти диктують вимоги до якості	Обмеження існують лише у разі відмови від діагностики

У табл. 5.10 показано фактори конкурентноспроможності та їх обґрунтування.

Таблиця 5.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Раціональніший ціновий показник	Можливість більш раціонально використати ресурси на покращення якості продуктів
2	Надання сервісних послуг	Сервісна підтримка програмної частини

У табл. 5.11 наведено сильні та слабкі сторони проекту.

Таблиця 5.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Раціональніший ціновий показник	17			+				
2	Надання сервісних послуг	12		+					
3	Синхронізованість	14			+				
4	Необхідність залучення висококваліфікованих кадрів	7						+	

У табл.5.12 наведено SWOT-аналіз стартап-проекту.

Таблиця 5.12. SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: раціональний ціновий показник, надання сервісних послуг, синхронізованість	Слабкі сторони: необхідність залучення висококваліфікованих кадрів
Можливості: перехід до ексклюзивного застосування нового методу, імплементація методу в існуючі комплекси обробки звуку	Загрози: незацікавленість клієнтів, втрата авторитету

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту наведені у табл.5.13.

Таблиця 5.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Сроки реалізації
1	Укладення договорів з медійними компаніями та швидке захоплення ринку при використанні нового рішення	висока	незначні
2	Відсутність апаратної частини для здешевлення	середня	незначні

Обрана альтернатива - укладення договорів з медійними компаніями та швидке захоплення ринку при використанні нового рішення

#### 5.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Обґрунтування вибору цільових груп потенційних споживачів наведено у табл. 5.14.

Таблиця 5.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Медійні та кінокомпанії	Середня	Високий	Середня	Висока
2	Музиканти та аматорські медійні спілки	Висока	Високий	Середня	Низька



Визначення базової стратегії розвитку наведено у табл. 5.15.

Таблиця 5.15. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Використання альтернативних технологій та пристроїв	Встановлення нового стандарту якості та можливостей	Зацікавлення та залучення гігантів у медійних галузях	Стратегія диференціації
2	Дешевизна проекту	Раціональніші витрати на обладнання, та послуги	Застосування програмних рішень замість спеціалізованих комплексів	Стратегія лідерства по витратах

Визначення базової стратегії конкурентної поведінки наведено у табл.5.16.

Таблиця 5.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Ні	Забирати існуючих та шукати нових	Не буде	Стратегія виклику лідера

Визначення стратегії позиціонування наведено у табл. 5.17.

Таблиця 5.17. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспромо жні позиції власного стартап- проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувану комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Висока якість послуг	Стратегія диференціації	Новизна, гарант якості, точність дослідження	Якість, надійність, точність
2	Мінімальні витрати	Стратегія лідерства по витратах	Універсальність запропонованого рішення	Дешевизна, універсальність

### 5.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Ключові переваги концепції потенційного товару наведено у табл. 5.18.

Таблиця 5.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Якість	Висока якість, надійність	Високий рівень можливостей
2	Дешевизна	Раціональне використання коштів, дешевше обладнання	Дешевизна

Визначено три рівні моделі товару. Сутність та складові рівнів товару наведено у табл. 5.19.

Таблиця 5.19. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Якісні послуги, стандартизована якість послуг та обладнання		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1)Вартість обслуговування,	М	1)Е
	2)Кількість комплектів обладнання	М	2)Пр 3)Нд 4)Тх
	3)Строк безвідмовної праці	М	
	4)Технологічна собівартість товару		
	Якість: міжнародні стандарти якості, постійна підтримка обладнання		
	Доставка, встановлення та налаштування		
	Марка: медіавиробництво		
III. Товар із підкріпленням	До продажу – програмне (та апаратне) забезпечення		
	Після продажу – сервісна підтримка		

Захист розробленого продукту буде регламентуватися як захист інтелектуальної власності товару.

Визначення меж встановлення ціни на послугу наведено у табл. 5.20.

Таблиця 5.20. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	100...300 у.о.	100...1000 у. о.	Середній	Н.100 у.о. – В.250 у.о. (Товар) Н.20 у.о. – В.100 у.о. (Послуга)

Формування системи збуту послуги наведено у табл. 5.21.

Таблиця 5.21. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Орієнтована на отримання максимальної якості та точності обробки звуку	Поставки якісного, точного та надійного товару	Значна	Регламентована система збуту

Концепції маркетингових комунікацій наведено у табл. 5.22.

Таблиця 5.22. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Зацікавленість в якісному та точному продукті з раціональним використанням ресурсів	Медіа ресурси	Гарантованість якості та стандартизація, політика сервісності.	Зацікавити у покращеннях пов'язаних із зростаючою популярністю послуг	Представлення продукції новим кроком в галузі обробки звуку
2	Зацікавленість у великій кількості продукту із дотриманням умов якості	Медіа ресурси	Широкий спектр застосування, глибина каналу постачання, гарант якості	Зацікавити у позитивних сторонах первісності та в глибині каналу постачання	Представлення якісної роботи з клієнтами

## Висновки до розділу 5

Комерціалізацію стартап-проекту щодо розвитку та впровадження запропонованого апаратно-програмного рішення для обробки звукового контенту, можна вважати доцільною. На дану пропозицію на ринку медійних послуг присутній попит, наразі він задовольняється товарами замінниками та більш дорогими рішеннями, саме тому важливо зайняти нішу конкурента у якості поставника вигідного продукту, порівнюючи з конкурентами. Рентабельність на ринку послуг насамперед обумовлена заміною повної апаратної залежності на універсальність, що обумовлена використанням не спеціалізованих комплексів, а загальноживаного програмного та апаратного забезпечення.

Впровадження є перспективним, адже основними групами клієнтів є масштабні медіа компанії та відомі музиканти, і після набуття достатньої авторитетності можливе охоплення у масштабах міжнародних ринків. Конкурентноспроможність проекту обумовлена меншою ціною на повний продукт, високим рівнем модливостей та високою якістю створення звукових ефектів та обробок, коли конкуренти за цим параметром у даних умовах програють. Це вигідно вирізняє запропоноване рішення, власне, і є основним критерієм входження на ринок.

## ВИСНОВКИ

В дисертації проаналізовано існуючі рішення та особливості застосування засобів запису та програмної обробки аудіо-контенту.

1. На базі виконаних теоретичних досліджень описано основні поняття, які використовуються в музичному продакшні, зокрема поняття секвенсорів, плагінів, процесорів та педалей ефектів, синтезаторів та їх видів.

Секвенсор - це програма для створення музичних фрагментів у вигляді нотних записів для інструментів, аудіодоріжок і їх обробки та об'єднання в трек.

Процесори ефектів - звукове устаткування або програми, у яких застосовуються алгоритми обробки, створені для реалізації великої кількості звукових ефектів

2. Проведено опис основних методів синтезу звуку – адитивного, субтрактивного, формантного, гранулярного, ШІМ, методу фізичного моделювання. Процес синтезу - процес, який відбувається всередині синтезаторів.

Динамічна обробка – процес зміни динаміки звуку, вирівнювання його гучності. Ця процедура носить назву «компресія». Прилад, який для цього використовується має назву компресор і являє собою автоматичний регулятор гучності.

Звукові ефекти (англ. Sound effects або англ. audio effects) — штучно створені або підсилені звуки, або обробка звуку, що застосовуються для підкреслення художнього або іншого змісту в кіно, відео іграх, музиці або інших медіа.

3. Проаналізовано процес модуляції ефектів аналоговим способом та схеми їх реалізації. Змодульовано принципову схему педаль ефекту «дисторшн».

Тенденції розвитку ефектів типу фуз, овердрайв, сустейн і дисторшн полягають в застосуванні активних фільтрів на операційних підсилювачах замість RC (резистор-конденсатор) ланцюжків, що мають більш круті схили своїх частотних характеристик і більше подавляють небажані високочастотні

компоненти. Також велику увагу розробники приділяють створенню більш досконалих пристроїв обмеження і нелінійного спотворення сигналу.

4. Висвітлено процес створення аудіо плагінів та створено плагін ефекту «дісторшн»

Аудіо плагіни - це програми, які завантажуються у головне програмне забезпечення. Вони обробляють дані аудіо або MIDI і можуть мати графічний інтерфейс користувача.

З мінімальною кількістю теоретичних прийомів було створено працюючий дісторшн з кастомними інтерфейсом. Було використано програмне забезпечення Juce та середовище розробки Xcode для Mac OS X.

5. Розроблено стартап-проект, який базується на просуванні на ринок плагіну процесора звукових ефектів, який оснований на застосуванні описаних методів. Проведено дослідження доцільності та рентабельності даного бізнес-проекту та визначено, що комерціалізація проекту є доцільною.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Chanan M. A Short History of Recording and its Effects on Music — Verso, London, 1995 — 159 с.
2. Duignan M. Computer mediated music production: A study of abstraction and activity — 21-52, 65-88, 153-170 с.
3. Хилько А. - Создание музыки в Ableton Live – Азы, 2011 — 15-21 с.
4. Любивий А.С. Методи реалізації звукових ефектів - Наука онлайн: Международный научный электронный журнал. - 2019. - №11, URL: <https://nauka-online.com/publications/tehnicheskie-nauki/2019/11/metodi-realizatsiyi-zvukovih-efektiv/>  
(дата звернення 15.11.2019 р.)
5. Owsinski B. The Mixing Engineer's Handbook. 3 видання — 102-143 с.
6. Любивий А.С. Методи реалізації звукових обробок. К.: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2019.
7. Ableton Reference Manual — Berlin, Germany.
8. Стаття «Схемы для электрогитары», URL: <http://radiostorage.net/161-ehlektrogitara/3/>  
(дата звернення 11.10.2019 р.)
9. Петелин Р., Петелин Ю. Звуковая студия в РС — 166-169 с.
10. Martin Finke's Blog. Music & Programming. Making Audio Plugins, URL: [http://www.martin-finke.de/blog/tags/making\\_audio\\_plugins.html](http://www.martin-finke.de/blog/tags/making_audio_plugins.html)  
(дата звернення 15.11.2019 р.)
11. DeSantis D. Making Music - 74 Creative Strategies For Electronic Music Producers — 111-196 с.
12. Mike Senior. Mixing Secrets for the Small Studio — 117-201 с.
13. Juce Documentation, URL: <https://juce.com/learn>  
(дата звернення 04.10.2019 р.)



14. Kees A. Schouhamer Immink. The Future of Audio Recording — Turing Machines Inc, Rotterdam, The Netherlands.

ДОДАТОК А  
**ABSTRACT**

Human Computer Interaction research has a unique challenge in understanding the activity systems of creative professionals, and designing the user-interfaces to support their work. In these activities, the user is involved in the process of building and editing complex digital artefacts through a process of continued refinement, as is seen in computer aided architecture, design, animation, movie-making, 3D modelling, interactive media (such as shockwave-flash), as well as audio and music production. This thesis examines the ways in which abstraction mechanisms present in music production systems interplay with producers' activity through a collective case study of seventeen professional producers. From the basis of detailed observations and interviews we examine common abstractions provided by the ubiquitous multitrack-mixing metaphor and present design implications for future systems.

Much of the music we listen to today is recorded and manipulated with computer systems. In many cases, these computer systems are playing an increasingly large role in mediating the entire creative process rather than simply acting as a recording and post-production technology. This thesis examines activity systems that are towards the computer mediated end of this spectrum, where the entire development process from initial composition and concept formation through to the arrangement, mixing, and performance are heavily informed by computer music systems. This thesis uncovers the activity of professional 'producers' who use these sophisticated computer interfaces to create contemporary popular music, and examines the abstraction mechanisms these user interfaces provide that both help and hinder their activity from a Human Computer Interaction perspective.

With the advancing development of digital technology, today's aspiring electronic music producers enjoy a significant degree of creative freedom. For a cost that seemed unimaginable 10 years ago, electronic music producers now can set up studios in their own homes and produce highly accomplished soundtracks. So professional are some of these tracks that they can literally be sent straight to the record company for final mastering.

This facility has led to a boom of both interest and creativity in the areas of music production. Many independent artists are now producing their own unique music

independent of market-led forces. The development of the World Wide Web further enables them to upload their tracks to a potential audience of millions. The degree of freedom such producers now enjoy is clearly unparalleled.

Modelling technology has revolutionized the music production industry in a big way. It has affected everyone in the field of music production from the live side to the studio, both commercial and private. Even though modelling technology has been around in one form or another for twenty years or so, the last ten have possibly brought the greatest advancements.

The thesis concludes that modelling technology, both software and hardware, plays a crucial part in all fields of contemporary music production and put a special emphasis on how the pros use DAWs. The interviewees and literature agrees on many advancements and steps forward, but there is also room for growth and some new challenges have risen.

The musician must be well versed in the essence of signal processing devices, have an idea of what special features human hearing, know the nature of the propagation of sound waves, and so on. Only in this case the created composition will sound at the desired level.

During the writing of the thesis I developed a much broader understanding of the theory of sound recording and musical acoustics. The theory of music almost always goes beyond classical music. The process of creating music depends heavily on both instrumental performer and electronic music performer. The widespread use of MIDI and VST technologies greatly affects the subjective perception of the audio recording studio end product listener.

The object of the study is software tools for audio content. The purpose of the work is to analyze the methods and technologies of sound processing, to study the algorithms for processing sound effects, to conduct an experiment to create some sound effects in analog and digital ways, and to present modern solutions for the processing of sound signals.

Additionally, the design of music production tools is predominantly based on pre-existing machines, and thus exhibits extensive use of ‘user-interface metaphor’ in

which the software is conceptually and graphically organized around the same design as some other (typically physical) system. In the case of music production software, their design has been tightly informed by traditional music hardware systems, and in particular the multitrack-mixing model and its inherent design limitations. The purpose of this research is to learn about the fitness and difficulties of existing music production abstraction mechanisms in relation to the work of producers. This will lead us to a better understanding of how to design abstraction mechanisms, both in music production tools, and for other digital artefact crafting systems.

Modelling technology has been available for for several decades, but among the industry, has never been held up to scratch when it comes to quality of sound, until now that is. While the prevalence of the “buzz saw” type of guitar distortion and Hi-Gain overdrive heard for example in the Swedish death metal scene meant that some people were distinctively going for edge and hyperbole, the modelling tools of the past always fell short of achieving the subtleties of actual tube driven guitar amplifiers.

When it comes to drums, drum samplers have been around since the early 80’s and in the early days were clunky hardware sequencers with built in sound banks. In the early 2000’s though, the “Drumkit From Hell” arrived onto the metal scene. One of the first drum sample packages detailed enough to even get close to sounding like an actual drummer, at least in the dynamic-squashing overly processed world of extreme music.

The topic is relevant, because wanting sound modeling gives us a world of almost endless possibilities with a couple of mouse clicks, it also presents a lot of confusion. In many cases, these challenges can stimulate threefold, and the benefits can often cause new difficulties.

The fact that we can get very close to the actual sound of the originals that we’re trying to replicate, with taking up a fraction of the space than the original, means also that touring musicians are saving money and nerves on the road. Every extra kilogram that you must carry on a plane costs extra money, and money talks. Also, on tour you’re faced with a wide range of different kinds of venues, so the fact that you can get the same guitar sound day-in-day-out without having to find just the right microphone

placement of a guitar cab is a huge advantage since modelling processors such as the Axe-FX (seen below in Figure 3) and Kemper can be fed straight into the line input.

Many are directly related to technologies that have become prominent in the past few decades, and these new advantages, as well as the new educational demands of artists and musicians, are a result of these newly developed technologies.

Instead of listening to what's coming out of the speaker of the great sounding tube amplifier and trying to replicate that, people have been looking into the circuitry and the intricacies of what's going on inside of the mechanism that they're trying to model.

The use of digital samples and virtual instrumentation is becoming increasingly common as well, which requires certain skills to be able to use effectively, most of which are within the realm of engineering and production. The increased use of virtual instrumentation is due to both the high quality of modern virtual instruments, and the sometimes prohibitive cost of hiring and recording real musicians or acoustic sources.

In the mid 50's, when electric guitars became popular, all amplifiers were designed for vocals, and they didn't really give the edge guitarists wanted. The only way to get distortion was to turn the volume to eleven and hope the tubes didn't melt (or the neighbors didn't call the cops).

Coming to the sixties, guitarists razored their speaker cones to make a fuzzy sound. Later, the first distortion effect boxes were made to simulate the sound of razored cones and overdriven amps. These days most amps have built-in distortion, but distortion effects are still popular. Now we're going to discuss the methods of creating distortion with effect boxes.

When talking about distortion, you usually hear the words overdrive, distortion, fuzz and crunch. They are words describing the type of distortion an amp or an effect gives out. Overdrive is a natural and smooth sound, while a distortion is more rough. Fuzz is a metallic and very rough type of distortion that turns the sound of a guitar into a fuzzy sound. Crunch is not a specific type of distortion, but a mild overdrive or distortion. These don't apply to all effects on the market, for example Craig Anderton

calls almost all of his distortions "fuzz", no matter if it's a distortion, overdrive or fuzz. For example Craig Anderton's Tube-sound Fuzz is actually an overdrive unit.

The first mixing technique to consider would be what is called the 'soundstage' or 'stereo field'. This is, essentially, where each part of a recording is placed from left to right, and forward to back. The soundstage has three dimensions: panning, distance, and timbre. The first, and most apparent, is panning. A track's stereo placement can affect its perceived importance in a number of different ways. The instruments placed in the very center are usually perceived as most important, and the center area is often times reserved for the lead vocalist, the lead guitar (usually during a solo), and the kick and snare drum, the most fundamental two pieces within the drum kit. Sometimes, important tracks can be brought out by placing them in a space of their own, without any other instruments near it in the soundstage. The Beatles would often pan important parts to the extreme left or right, but without much else in that stereo location, allowing the track to stand out despite its position in the soundstage.

Distance is the second dimension of the soundstage. The engineer uses reverb, echo, and equalization to place a track either forward or back, essentially, up close, or farther away. Like with panning explained above, the tracks that are intended to have the most prominence are the ones that sound the closest to the listener, and the less important tracks (usually used for filling in the sound) are often placed farther back in the mix.

Timbre is the third dimension of the soundstage. Human hearing is capable of perceiving sound from approximately 20hz to 20,000hz. This equates to approximately 10 octaves, and this ranges from extremely low bass to very high treble. Each instrument occupies a different place (or a few different places) within this range, which largely determines what the timbre of that instrument is. A kick drum and bass guitar usually occupy the lowest bass frequencies, while a voice might occupy low midtones. An acoustic guitar or cymbal might occupy the higher treble frequencies, and so on. Like in panning, having too many tracks trying to occupy the same timbral space can make a mix sound rather undefined. To remedy this, an engineer usually tries to keep each track in its own timbral space, so that it can stand out among the other

present tracks. An engineer can also use this to his advantage: if he or she wants a certain track to stand out, certain mixing techniques can be employed to provide more emphasis within this timbral space.

These three dimensions of the soundstage do not necessarily have to stay put. This is where ‘automation’ becomes useful. Automation is, essentially, the change of a mix element over time. This can include an instrument moving from left to right, something getting louder or softer, something becoming more or less distant, and so on. Volume and stereo placement are most often automated, but nowadays, nearly anything can be with relative ease. This can create a sense of motion or change, and is very effective for capturing the listener’s attention. There is no doubt that an engineer would likely use such automation to bring out what he feels is an important element of a mix.

Now that the soundstage has been explained, the smaller details can be briefly discussed: the use of effects and the consideration of text. The effects are essentially the toolbelt of the engineer and producer, able to perform any number of functions in a mix. Although soundstage and instrumental arrangement are perhaps the biggest considerations, there are a few effects that engineers use the most frequently, and are all commonly use tools in bringing out or altering a certain element of a track or overall mix.

The five effects that are most often used, and will likely appear in certain places during the following analyses, are: Equalization, compression, reverb, echo (or delay), and saturation. If an engineer had only these five effects at his disposal (as well as panning and volume control), he or she would be able to mix nearly any recording with entirely professional results, and it could be argued that all other effects, while convenient at times, are not nearly as important as these.

For the readers less familiar with what these effects do, they will be very briefly described. To begin, equalization is essentially a tool used to increase or reduce the volume of a track or recorded sound within a specific range of frequency. A dull sounding guitar, for example, would be equalized with added treble, so that it would



sound brighter as a result. A muddy sounding electric guitar might be equalized with a reduction around 500hz, and so on.

One of the reasons equalization is important is because it allows an engineer to bring out specific characteristics of a recorded sound, and hide undesirable ones, allowing only the desirable characteristics to be clearly audible. A dull snare drum, for example, could be equalized specifically to increase the ‘crack’ sound of the strike, without affecting the fundamental tone of the drum itself. A prominent bass guitar part might be equalized with more midtones to allow it to stand out better in a busy mix. Because equalization is so effective at bringing out specific characteristics of a sound, it is without a doubt a common tool used by the engineer to emphasize what they feel is important, down to the specific details of the timbre.

Compression is the most commonly used tool to automatically control the dynamic character of a recorded sound. Although its use can be complicated in some contexts, a compressor can be very simply explained as follows: it increases the volume of the quieter sounds, and decreases the volume of the louder sounds. This results in a more even volume level along the whole track. This is particularly useful if, for example, a recorded vocal track has alternating loud and quiet sections. The vocals should always be loud enough to stand in front, but when the singer sings louder, they should not overpower the rest of the instruments. Compression is used to keep a recorded sound in the same dynamic location throughout the whole recording, and for instruments that are intended to be heard evenly throughout the entire song, it is a very useful tool.

Reverb is the most commonly used tool in creating a sense of distance. Reverb is, essentially, the sound of the room or acoustic space that the sound was recorded in. This can include the actual location of the recording, or can be digitally simulated. Digital reverb did not become commonly used until around the 80’s, so prior to this time (and not considering tools like spring and plate reverb machines), much of the reverb would have been a result of actual acoustics in the room that the recording was taking place. The intensity of this effect would have been dependent on how far away the microphone was from the soundsource. A clear example of this is in Michael

Jackson's vocals. For his lead vocals, he stood right next to the microphone, but for the background vocals, he desired a slightly more distant sound (so that the background vocals would blend better with the lead) and he would then record these tracks standing several feet back.

Digital reverb can be altered in a number of different ways to make a track sound more or less distant, to make the acoustic space seem smaller or larger, and so on. Reverb can also be used for expressive effect, appearing at some times and not at others. A clear example of this would be in Led Zeppelin's "Going to California." The more dramatic middle section is treated with heavy reverb, while the rest of the song is relatively dry and reverb-less. Echo (also called delay) is used in a very similar fashion to reverb. It creates, essentially, an echo effect, of varying magnitude, and this can also create a sense of distance, but with slightly different application compared to reverb.

Finally, there is saturation. Saturation is also known as overdrive or distortion, but it is perhaps more wide-ranging than most people think when they hear the words 'overdrive' and 'distortion'. Saturation is, essentially, a change in the harmonic and timbral character of a sound as a result of the side effects of certain recording equipment, most notably tubes, tape, and FETs. This usually results in increased harmonic content along the entire frequency range, and in extreme cases, saturation is what gives the electric guitar its characteristic distortion.

In more mild applications, saturation can enhance a recorded sound without actually sounding distorted or like it is crackling. Tube microphones are generally sought after for vocalists because of this subtle enhancement, and saturation is particularly noteworthy in this thesis in that it has the ability to bring a sound up front, and make it sound bigger and closer to the listener. If there's a sound or element of a mix an engineer wants to bring out, saturation is a useful and common tool.

The same, to a lesser extent, can be said about text. Although text-painting is a more common relationship between music and lyrics, it should not be ruled out that it is indeed possible to do so between mixing and lyrics as well. (If the lyrics take a lighthearted turn, perhaps brightening up the sound of the mix would be appropriate!)

Now that all of the important concepts, terms, and techniques have been briefly explained, we should be fairly well-prepared to approach the actual musical analysis.

ДОДАТОК Б  
Методи синтезу звуку

## Адитивний метод

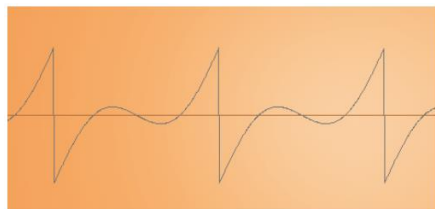
Синусоїда



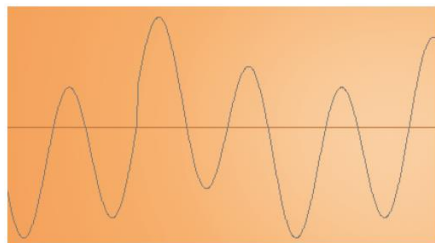
Пила



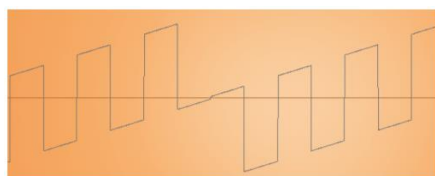
Синусоїда + пила



Синусоїда + синусоїда

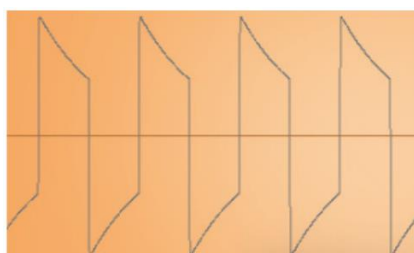


Синусоїда + прямокутна

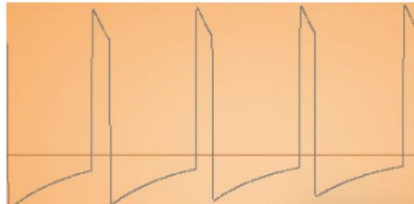


## ШИМ

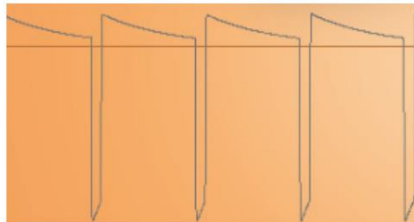
ШИМ не використовується



Мінімальне значення ШИМ

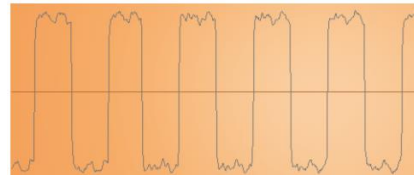


Максимальне значення шим

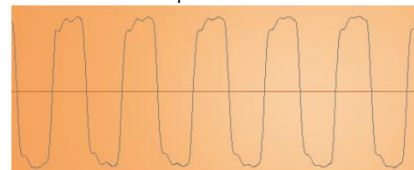


## Субтрактивний метод

Початковий сигнал

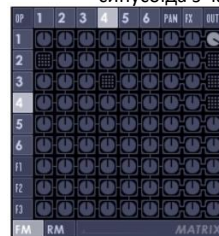


Обробка ФНЧ

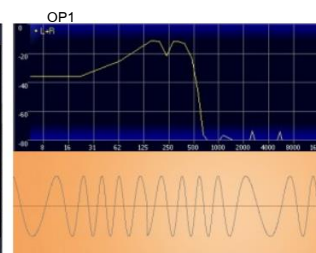
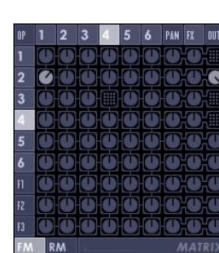


## FM/RM синтез звуку на прикладі синтезатора Sytrus

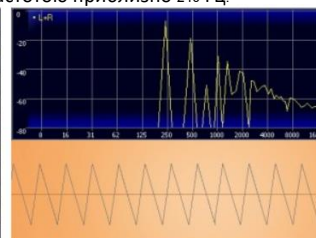
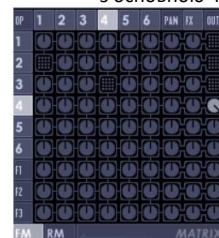
Форма хвилі першого оператора - синусоїда з частотою приблизно 66 Гц.



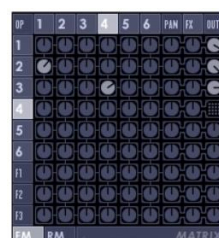
Оператор OP2, модульований оператором



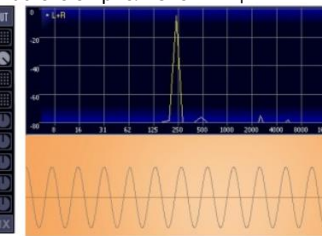
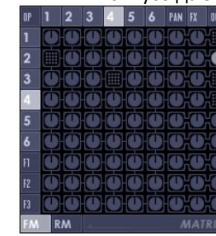
Форма хвилі четвертого оператора - трикутна з основною частотою приблизно 240 Гц.



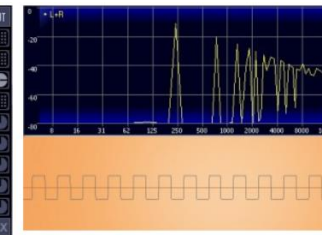
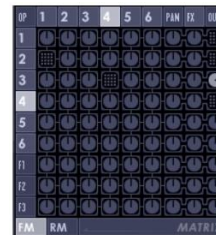
сигнали першого оператора, складені з другим (попередньо змодьованим першим) і третім (попередньо змодьованим четвертим)



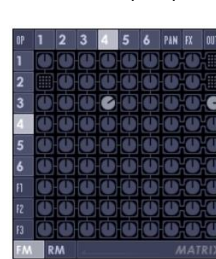
Форма хвилі другого оператора - синусоїда з частотою приблизно 240 Гц.



Форма хвилі третього оператора - прямокутна з основною частотою приблизно 240 Гц.



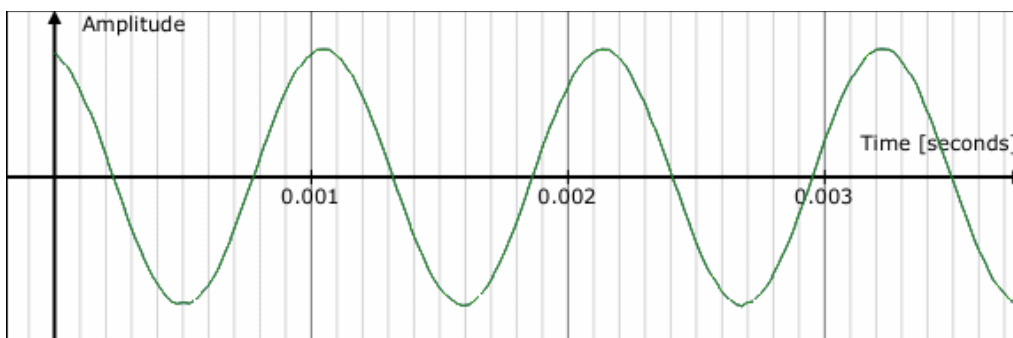
Оператор OP3, модульований оператором



## ДОДАТОК В

Порівняльна характеристика діодів  
з точки зору їх використання в схемах блоків ефектів

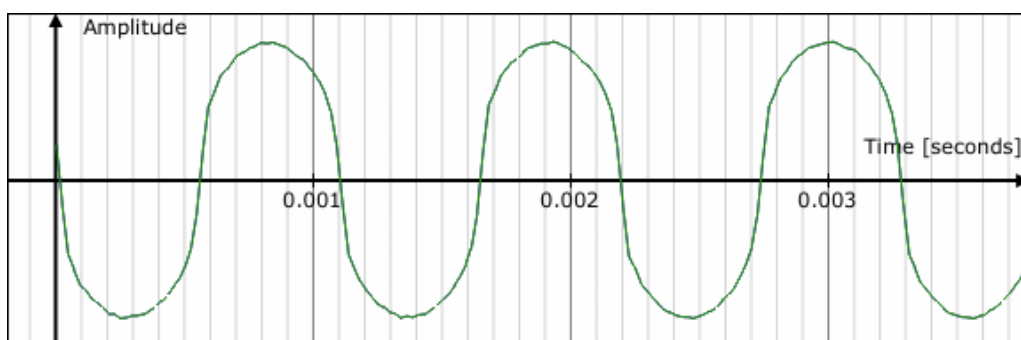
Оскільки діоди мають різну напругу пробою, кожен із варіантів виробляє вихід різної гучності. Наприклад, світлодіод виробляє вихід, який в 10 разів більший за діоди Ge. Нижче наведено результат. Чистий звук без активних діодів - майже ідеальна синусоїда.



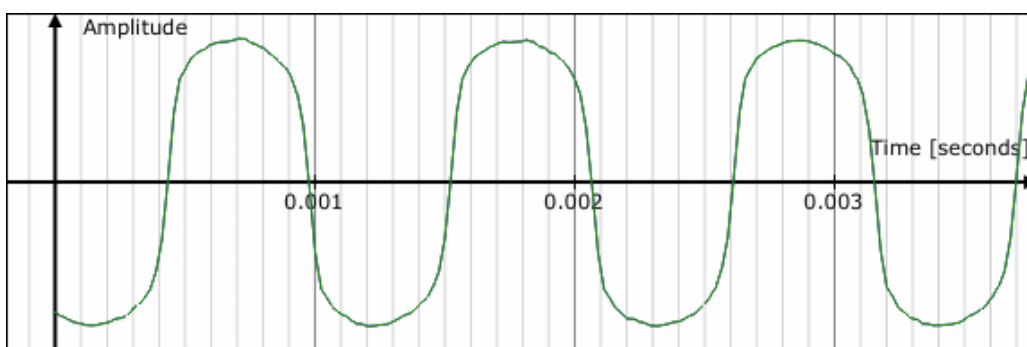
Германові діоди (1N34A). Набагато нижчий вихід і дуже м'яка обрізка. Отримана форма хвилі все ще нагадує початкову синусоїду, вона лише трохи стиснута (і візуально, і звуково).



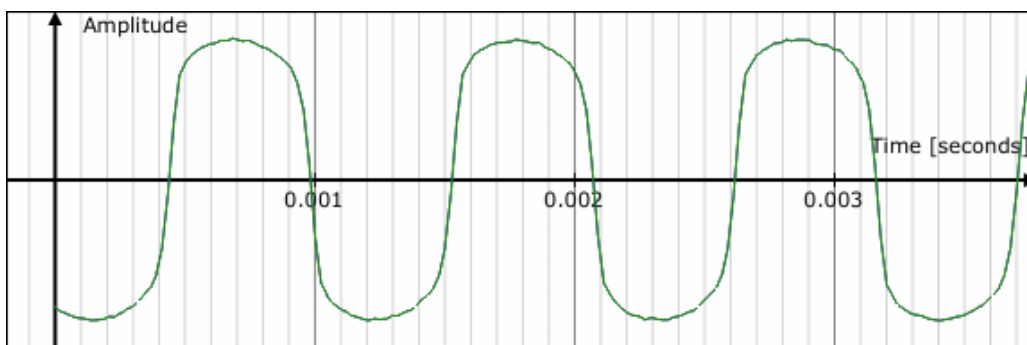
Діоди Шоткі (BAT46). Низький вихід, подібний до германію, але трохи більш стислий.



Кремнієві діоди (1N4148). Ще більше відсікання та значно більший вихід.



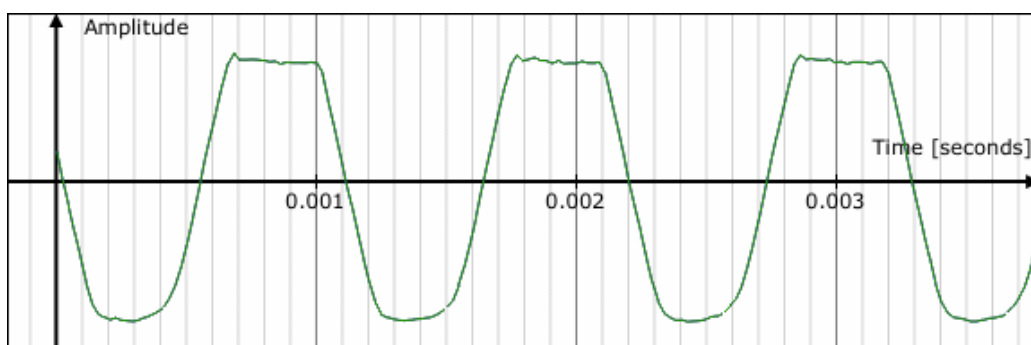
Випрямний діод (UF4007). Дуже схожий на кремнієві діоди, чого можна очікувати, оскільки випрямлячі діоди також мають кремнійсвий склад.



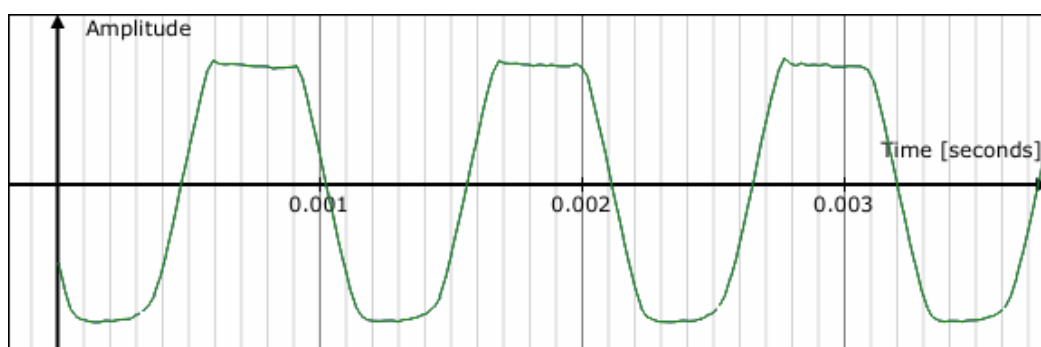
Вихід відсікання операційного підсилювача без активних діодів відсікання. Це виявилось найбільшою перешкодою при аналізі діодів із більшим висотою пробігу (LED та FET), оскільки вони пропускають більше сигналу, який, у свою чергу, перевищує ступінь посилення вихідного сигналу. Відсікання підсилювача "забруднить" відсікання діода, яке намагаємось зафіксувати. Якщо зменшити коефіцієнт посилення, щоб уникнути відключення вихідної стадії, ми також опустимось нижче порогу відсікання діодів, тому вихідний сигнал буде досить чистим.

Серія діодів FET (BS250) і Шоткі (BAT46). Помітно більше стиснення та спотворення. Як бачимо, ця хвильова форма нагадує відсікання підсилювача, і саме це відбувається тут.





Світлодіодний (5мм червоний). Знову-таки, вихідний підсилювач відсікає сигнал і перетворює його майже в прямокутну хвилю.



## ДОДАТОК Г

Таблиця підтримки плагінів в DAW

## Типи підтримуваних плагінів в DAW

DAW	ReWire	JACK	VST	VST3	LADSPA	LV2	DSSI	RTAS	AU	DXi	MAS
ACID Pro	Так	Hi	Так	Невідомо	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Так	Hi
Acoustica	Hi	Hi	Так	Так	Hi	Hi	Hi	Hi	Так	Hi	Hi
Ardour	Hi	Так	Так	Невідомо	Так	Так	Hi	Hi	Так	Hi	Hi
Audacity	Hi	Так	Так	Hi	Так	Так	Hi	Hi	Тільки OS X	Hi	Hi
AudioDesk	Тільки зворотній зв'язок	Hi	Via converter	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Так	Hi	Так
Audiotool	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi
Audition	Частково (Pre CS5.5 - Так, CS5.5 - Hi)	Так	Так	Так	Hi	Hi	Hi	Hi	Так	Частково (Pre CS5.5 - Так, CS5.5 - Hi)	Hi
Cubase	Так	Hi	Так	Так	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Terminated (SX3.1)	Hi
Digital Performer	Так	Hi	Так	Так	Hi	Hi	Hi	Так (з Digi TDM or HD hardware via DAE)	Так	Hi	Так

DAW	ReWire	JACK	VST	VST3	LADSPA	LV2	DSSI	RTAS	AU	DXi	MAS
Ecasound	Hi	Tak	Hi	Hi	Tak	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi
FL Studio	Tak	Hi	Tak	Tak	Hi	Hi	Hi	Hi	Tak	Tak	Hi
GarageBand	Tak	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Tak	Hi	Hi
Goldwave	Hi	Hi	Beta	Невідомо	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Tak	Hi
Harrison Mixbus	Hi	Tak	Tak	Hi	Tak	Tak	Hi	Hi	Tak	Hi	Hi
Jokosher	Hi	Hi	Hi	Невідомо	Tak	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi
Live	Tak	Hi	Tak	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Tak	Hi	Hi
LMMS	Hi	Tak	Tak	Невідомо	Tak	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi
Logic Express/Studio	Tak	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Tak	Hi	Hi
Mixcraft	Tak	Hi	Tak	Tak	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	DirectX effects Тільки	Hi

DAW	ReWire	JACK	VST	VST3	LADSPA	LV2	DSSI	RTAS	AU	DXi	MAS
mp3DirectCut	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi
MuLab	Tak	Невідомо	Tak	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi
MusE	Hi	Tak	Tak	Невідомо	Tak	Tak	Tak	Hi	Hi	Hi	Hi
n-Track	Tak	Hi	Tak	Tak	Hi	Hi	Hi	Hi	Tak	Tak	Hi
NU-Tech	Hi	Hi	Tak	Невідомо	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi
Nuendo	Tak	Hi	Tak	Tak	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi
Podium	Tak	Hi	Tak	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi
Pro Tools	Tak	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Before версії 11	Hi	Hi	Hi
Qtractor	Hi	Tak	Tak	Невідомо	Tak	Tak	Tak	Hi	Tak	Hi	Hi
REAPER	Tak	Hi	Tak	Tak	Hi	Hi	Hi	Hi	Tak	Tak	Hi
Reason	Tak	Hi	Tak	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi

DAW	ReWire	JACK	VST	VST3	LADSPA	LV2	DSSI	RTAS	AU	DXi	MAS
Record	Tak	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi
ReHiise	Tak	Tak	Tak	Hi	Tak	Hi	Tak	Hi	Tak	Hi	Hi
RiffWorks	Tak	Hi	Tak	Невідомо	Hi	Hi	Hi	Hi	Tak	Hi	Hi
Rosegarden	Hi	Tak	Hi	Hi	Tak	Hi	Tak	Hi	Hi	Hi	Hi
Samplitude	Tak	Hi	Tak	Tak	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Tak	Hi
SONAR	Tak	Hi	Tak	Tak	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Tak	Hi
Sound Forge	Hi	Hi	Tak	Невідомо	Hi	Hi	Hi	Hi	Tak	Tak	Hi
SoX	Hi	Hi	Hi	Hi	Tak	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi
SpectraLayers	Hi	Hi	Tak	Невідомо	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi
Studio One	Tak	Hi	Tak	Tak	Hi	Hi	Hi	Hi	Tak	Hi	Hi
Sweep	Hi	Hi	Hi	Hi	Tak	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi

DAW	ReWire	JACK	VST	VST3	LADSPA	LV2	DSSI	RTAS	AU	DXi	MAS
Total Recorder	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi
Tracktion	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak	Hi	Hi	Hi	Tak	Hi	Hi
Traverso	Hi	Tak	Hi	Невідомо	Hi	Tak	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi
VirtualDJ	Tak	Hi	Tak	Невідомо	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi
WaveLab	Hi	Hi	Tak	Tak	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi
WavePad	Hi	Hi	Tak	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Hi	Tak	Hi